

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal**



**TESIS DOCTORAL**

**Biología de la contaminación en el sistema Sorbe-Henares**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR

**José Ignacio Elorrieta Pérez de Diego**

DIRECTOR:

**Carlos Vicente Córdoba**

**Madrid, 2015**

José Ignacio Elorrieta Pérez de Diego

IP  
1981  
124



x - 53 - 01113 - 1 - 2

BIOLOGIA DE LA CONTAMINACION EN EL SISTEMA SORBE-HENARES

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Universidad Complutense de Madrid  
1981



BIBLIOTECA

© José Ignacio Elorrieta Pérez de Diego  
Edita e imprime la Editorial de la Universidad  
Complutense de Madrid. Servicio de Reprografía  
Noviciado, 3 Madrid-8  
Madrid, 1981  
Xerox 9200 XB 480  
Depósito Legal: M-13970-1981

Este trabajo que se presenta como "Tesis" para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas, ha sido realizado en el Departamento de Biología General de la Facultad de C.C. Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección del Dr. Carlos Vicente Córdoba, Decano de la Facultad, a quien agradezco sus orientaciones en aquellas cuestiones más conflictivas que me han servido de guías para ir desenredando la complicada madeja que constituye el ecosistema fluvial.

Deseo asimismo hacer constar mi gratitud hacia la Dra. Esperanza Martínez-Conde, que infundió en mí el ánimo para realizar este trabajo y al Dr. Benjamín F. Sánchez-Murias y a su equipo de Sanidad Ambiental, en especial a Manuel Mariño, que me abrieron como biólogo "la puerta de los ríos", así como me avezaron en aquellos aspectos técnicos de ingeniería tan necesarios para comprender como lo abiótico a veces parece vivo.

También mi reconocimiento a Rafael Tortajada, mi infatigable "compañero de aguas", por éste y por los numerosos ríos contaminados que hemos recorrido juntos.

A Maite Antonio que luchó y corrigió mi caligrafía jeroglífica descifrándola para Vds, y a todos aquellos que dedicaron parte de su tiempo en ayudarme en algún aspecto, Muchas Gracias.

Finalmente mi agradecimiento al Dr. García Novo que posibilitó que lo que era simplemente una Biología de la Contaminación adquiriera el rango de trabajo ecológico.



## INDICE GENERAL.-

|   |     |
|---|-----|
| I.- EL SISTEMA SORBE-HENARES .....                  | 1   |
| 1) El medio físico que define<br>el Sistema.....    | 2   |
| 2) La Geografía física general<br>del Sistema ..... | 27  |
| II.- LOS COMPONENTES DEL SISTEMA .....              | 71  |
| 1) Los componentes abióticos .....                  | 72  |
| 2) Los componentes bióticos .....                   | 114 |
| III.- EL ECOSISTEMA SORBE-HENARES .....             | 375 |
| IV.- EPILOGO .....                                  | 451 |

El Sistema Sorbe-Henares.-  
=====

1.- El medio físico que define el Sistema.

1.0.- Geología del Sistema

1.1.- Unidades estructurales y geológicas

1.2.- Paleogeografía y Paleohidrografía

1.3.- Litoestratigrafía

1.4.- Tectónica de la Cuenca

1.5.- Distribución de terrenos en la cuenca hidrográfica

1.5.1.- Unidades Hidrogeológicas

1.5.2.- Vulnerabilidad de los Acuíferos

1.6.- Edafología del Sistema Sorbe-Henares

1.7.- Bibliografía

## EL SISTEMA SORBE-HENARES

### 1. El Medio Físico que define el Sistema

Desgraciadamente la mayoría de los trabajos biológicos que tratan en nuestro país sobre la contaminación de las aguas pasan por alto toda una serie de estudios (ó en el mejor de los casos los dan sin relacionar con la vida), hasta ahora confinados únicamente a geólogos e ingenieros, en los cuales se investiga el como el agua discurre por el río y a la vez interacciona con su matriz, definiendo parámetros sobre morfología, patrones de corriente y tipo de lecho que son fundamentales para podernos explicar la mayoría de las propiedades de los hábitats en las aguas corrientes.

En su sentido más amplio, me estoy refiriendo a la necesidad del conocimiento de la geología y de la geografía de un río, como paso previo para el diseño biológico del estudio.

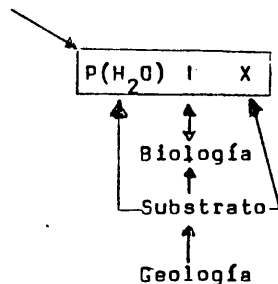
Para poder investigar la ecología de la contaminación es básico primero conocer cual es la variación natural de los biota a lo largo de un río, para así podernos explicar las modificaciones que sobre la vida, tanto en su aspecto de abundancia como en el de diversidad, ejercen los distintos efluentes, sin el peligro de tomar por cambios inducidos por la contaminación las meras variaciones originadas por parámetros exclusivamente naturales.

La Geología nos va a dar el estudio de las litofacies, cuyo conocimiento va a ser esencial para comprender todo aquello que de una manera natural está relacionado tanto con la composición química-solubilidad como con la constitución mecánico-sedimentaria, disgregabilidad etc.

La geografía por su parte nos va a dar todo el estudio de la cuenca, su climatología, la cantidad de agua que puede discurrir, la abundancia de vegetación etc.

Si la vida en un río, la podemos situar para dar una imagen intuitiva interactuando en el centro de un círculo, en el cual "p" se refiriera a toda una serie de efectos que relacionados con la geografía puede desempeñar el agua (según su caudal, velocidad, T, etc..) y "x" a todo aquello que puede transportar el agua, tanto en disolución como en suspenión, podemos comprender la interacción tan estrecha que existe entre estas dos ciencias y que a mi modo encuadran el medio físico que define el sistema.

Geografía



#### EL SISTEMA SORBE - HENARES

La propia etimología del sistema nos va a introducir ya en alguna de las propiedades características más llamativas de estos ríos y a las cuales deben su nombre.

El vocablo "Sorbe" tiene una doble etimología Romana y Arabe. Con relación al latín, Sorbe, viene de "Sorbere" que significa "beber aspirando" ó "esconder dentro de sí". Este nombre parece provenir de que al llegar a su desembocadura, en la formación diluvial del Henares, el Sorbe remueve gran parte de estos materiales entre los que pierde, al ser absorbidas, gran parte de sus aguas. Con relación al árabe Sorbe parece derivar de "sarib" que significa "beber Sarab", es decir una bebida dulce y fría.

El vocablo "Henares" es el plural de "Henar" que viene del latín "Foenum" que significa hierba segada y seca para alimento del ganado en su sentido más universal, y en su sentido más restringido se refiere a la gramínea "Hulcus lanatus" o heno blanco, de tallos de 50 a 80 cm. de hojas planas cubiertas de vello suave, con flores en panoja que se cultiva en los prados artificiales que tanto abundan en la cuenca. Con relación al árabe, Henares parece derivar de "Nahares" existiendo acorde en su significado con el vocablo latino.

## GEOLOGIA DEL SISTEMA.

### 1-1 Unidades estructurales y geológicas.

En el área de estudio podemos considerar dos grandes unidades geológicas:

a) El Sistema Central, constituido por rocas intrusivas y metamórficas de pequeño interés hidrogeológico dentro del marco regional.

b) La Fosa del Tajo, que es una fosa tectónica rellena por materiales de edad terciario-cuaternaria, detríticos ó evaporíticos con disposición sub-horizontal. Su hidrogeología es compleja debido a la existencia de numerosos tramos detríticos con frecuentes acuñamientos. Todavía es bastante desconocida.

Podríamos también incluir una tercera unidad, que aunque no estudiamos como tal, pues el río Henares solo lo estudiamos desde Cerezo, justo antes de su confluencia con el Sorbe, si que tiene una influencia tanto en la calidad del agua que lleva el Henares como en la formación de la fosa del Tajo; me estoy refiriendo a la "Unidad Iberica" que está formada fundamentalmente por terrenos mesozoicos, presentando niveles interesantes, fundamentalmente en los tramos calizos, desde el punto de vista hidrogeológico.

### 1-2 Paleogeografía y Paleohidrografía.

La Paleogeografía y Paleohidrografía del Sistema puede

encontrarse en un estudio realizado en Diciembre de 1.973 por INTECSA para el M.O.P. Haciendo un resumen muy breve podríamos señalar:

- a) A lo largo del Paleozoico (antes de la orogenia herciniana) tiene lugar en la cuenca la deposición de sedimentos que abarcan del Cámbrico al Carbonífero (Barda, J.P. Candevila, R. Malte Ph. 1.971), estos sedimentos, según su posición, sufren metamorfismo de distinta intensidad, siendo posteriormente plegados por la orogenia herciniana emergiendo gran parte de los mismos, que a partir de entonces sufrieron un período donde predominaron los fenómenos erosivos.
- b) Durante el Mesozoico vuelven a depositarse diversos materiales, acuñándose los tramos Triásicos y Jurásicos hacia el Oeste (Sanchez de la Torre, L. Agueda y A. Goy 1.971). Durante el Jurásico y Cretácico inferior no parecen darse grandes cambios en la ubicación de la cuenca geosinclinal, siendo la zona afectada por una fase austriaca (pre-albense) que eleva parte del macizo hercínico depositándose en las zonas deprimidas sedimentos arenosos que constituyen la "Facies Utrillas" (R. del Pozo I. y Melendez Hevia F. 1.972). A continuación la transgresión cenomanense cubrió áreas hasta entonces emergidas, pasándose en las mismas de una deposición de tipo continental a otra marina. El siguiente proceso está constituido por la Orogenia alpina, así mientras que en el Sistema Ibérico son importantes los espesores de los materiales mesozoicos que se pliegan de acorde con las direcciones ibéricas NNO - SSE, en el Craton Hercínico

(Sistema Central y Fosa del Tajo) se origina una fracturación que genera un sistema de bloques que obliga a adaptarse a esta estructura al recubrimiento mesozoico-palógeno. Va a ser precisamente en esta época cuando va a poderse originar la fosa del Tajo.

c) Durante el Neógeno, las áreas deprimidas (fosas) se colmatan en régimen continental a partir de los materiales detríticos originados en los pilares (Solé Sabaris L. 1.951), desarrollándose sobre este relleno una importante red fluvial a la que correspondería el sistema de paleocanales que constituye en algunas zonas la base de calizas del páramo (Canote R. y Cano S. 1.968). Esta fase se continúa con otra de carácter lacustre en la que se depositan las calizas de los Paramos que acaban por colmatar la fosa del Tajo. En el Plioceno se producen movimientos orogénicos (fase Rodánica) que pliegan suavemente los materiales miocénicos (Solé Sabaris L. y col. 1.951) e induce un rejuvenecimiento de niveles que se traduce en la deposición de "Rañas" (sedimentos gruesos).

d) A lo largo del Plioceno - Cuaternario una fase erosiva va a producir un progresivo encajonamiento de la red fluvial en el relleno terciario que colmataba la cuenca del Tajo que durante la fase rodánica había basculado hacia el O., posibilitando que el sistema endorreico de saque hacia el Atlántico. Los cursos de agua, desde entonces, van a profundizar en los terrenos terciarios, dejando colgados sus propios sedimentos en forma de terrazas a diversas alturas en amplias áreas.

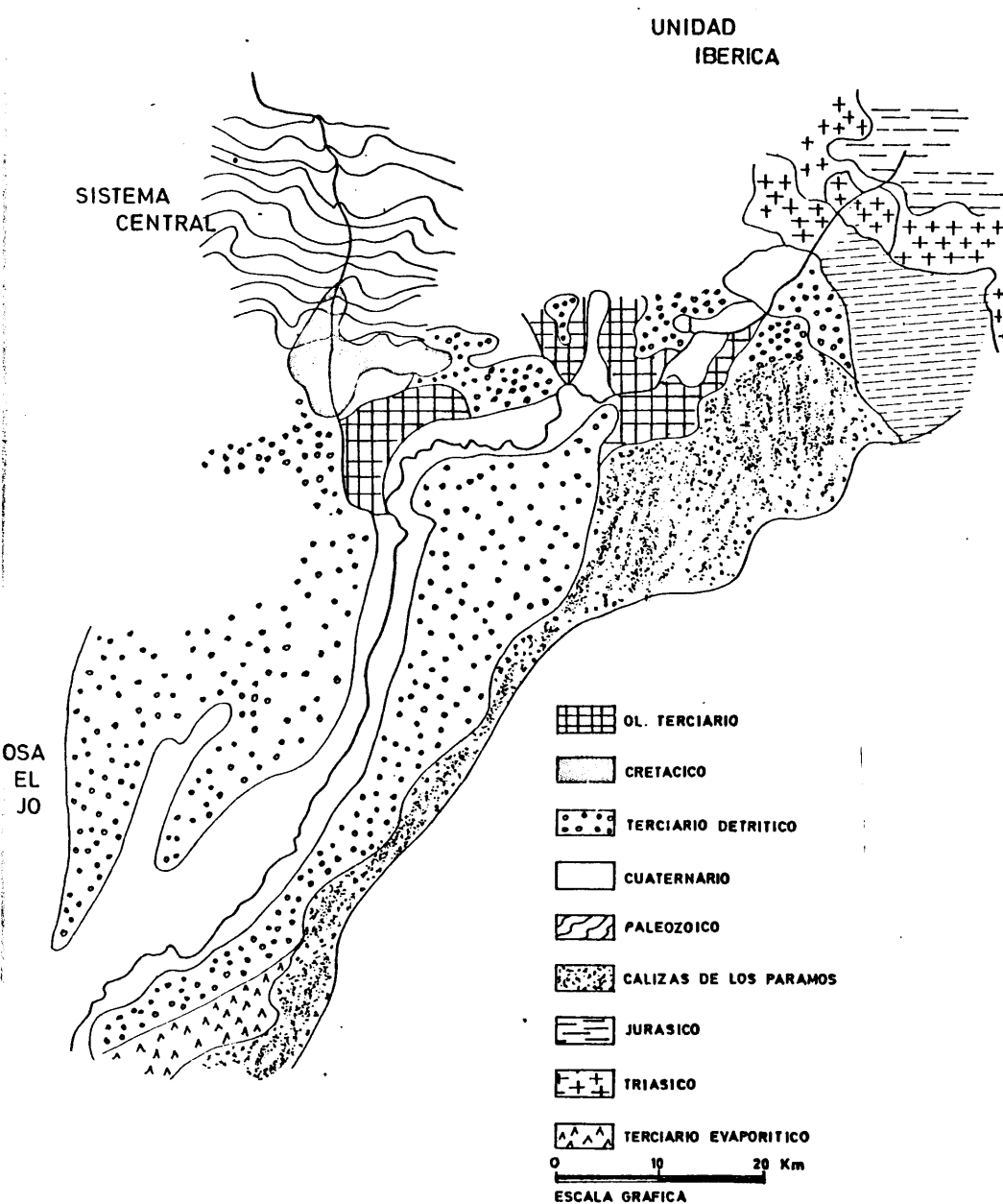


Este breve resumen de la historia del Sistema nos ayuda a explicarnos su composición actual, que viene esquematizada en los siguientes planos:

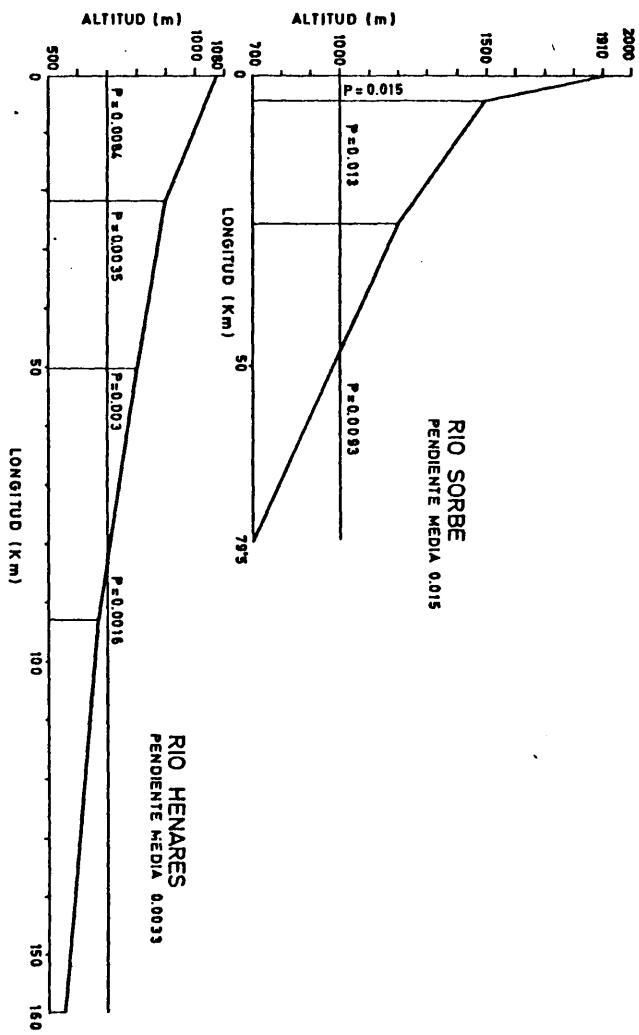
Plano nº I: Principales afloramientos de la Cuenca.

Plano nº II: Perfil geológico longitudinal-estructural del Sorbe.

Plano nº III: Perfil geológico longitudinal-estructural del Henares.



PRINCIPALES AFLORAMIENTOS DE LA CUENCA  
(Fuente : M.O.P.)



PERFILES LONGITUDINALES DE LOS RIOS SORBE Y HENARES.

### 1-3 Litoestratigrafía.

Solamente haremos un pequeño resumen de la litoestratigrafía del sistema en estudio, remitiendo a la bibliografía a quien tenga interés por un conocimiento más de tallado.

Desde ese punto de vista, me referiré sólo al Sistema Central y a la fosa del Tajo, dejando a un lado la Unidad Ibérica (por las razones que se expusieron al hablar de las unidades estructurales), de la que sólo a título indicativo diré que está constituida fundamentalmente por materiales mesozoicos, aflorando el Trias en los núcleos de áreas anticlinales y el Jurásico flanqueando (como Liásico de 100 m. de espesor) los núcleos anticlinales triásicos. Una serie Cretácica discordante sobre los terrenos anteriores y un Cuaternario asociado al curso de agua del Henares y alguno de sus afluentes.

. Con relación al Sistema Central, lo más destacable es la serie Paleozoica donde se reconocen micaesquistos, esquistos y cuarcitas. Los espesores medios del Paleozoico en el Sistema Central son:

- Carbonífero (arenas-conglomerados, margas arenas)  
 $\approx 300$  m.
- Devónico (calizas, areniscas, cuarcitas y pizarras)  
 $\approx 400 - 500$  m.
- Silúrico (pizarras, cuarcitas)  $\approx 300 - 500$  m.
- Ordovícico (pizarras, cuarcitas con niveles esquistosos)  $\approx 1.200 - 1.900$  m.
- Cámbrico (micaesquistos y cuarcitas, gneis bandeadas)  
 $\approx 100$  m.

- . Con relación a la fosa del Tajo podemos decir que presenta terrenos correspondientes a los siguientes pisos:
- Paleógeno y Cretaceo.
  - Neógeno en la propia fosa.
  - Cuaternario asociado a los cursos del agua.

Para simplificar, sólo me referiré a las facies miocénicas (que proceden de la erosión de los materiales del Sistema Central y de la Unidad Ibérica) y al Cuaternario.

Con relación a las Facies hemos de distinguir la llamada "Facies Central" que es una monótona sucesión de capas de yeso y margas yesíferas con algunas intercalaciones calizas y que tiene un carácter evaporítico y que sólo afecta a los últimos Kms. del Sistema (Mejorada del Campo) y la "Facies de Borde" que incluye las facies "Madrid" y "Guadalajara" procedentes respectivamente de la erosión de granitos y gneises y del Paleozoico.

La Facies Guadalajara, que es la que nos interesa directamente, pues afecta al Sistema, procede de la descomposición y erosión de los materiales paleozoicos de Somosierra y se compone principalmente de arcillas rojas claras, niveles arenosos con cantos de cuarcitas y fragmentos de pizarras, terminando con un tramo de caliza de los cáramos.

Con relación al Cuaternario diremos que desde el punto de vista hidrogeológico es muy interesante por las terrazas y los aluviones recientes. Las terrazas que alcanzan gran extensión están constituidas principalmente por arenas y gravas cuarcitas con algún nivel arcilloso.

Los aluviones están formados por gravas, arenas y limos que alcanzan espesores considerables.

#### 1-4 Tectónica de la Cuenca.

El río Sorbe tiene una tectónica y una geología semejante a la del Jarama y como ya se ha visto discurre las 3/4 partes de su recorrido entre terrenos Paleozoicos-Siluro-Cambrianos, sin apenas sedimentaciones secundarias (salvo un poco de Cretaceo superior calizo y estratos arenosos del Cretácico inferior Urgo-aptense-albanense). Todo este tramo paleozoico, como ya se explicó en la Paleogeografía, viene afectado por el gran movimiento herciniano y posteriormente por el alpineo-pirenaico, por lo que se encuentra fuertemente plegado en forma de Isoclinal, apretado por el herciniano y elevado por el alpino, llevando las pequeñas sedimentaciones secundarias y el Terciario Paleogeno buzamientos muy fuertes hacia el N. hasta que aparece el Oligoceno mucho más suave y con estratificación horizontal el neogeno miocénico y tal vez algo de Plioceno. Todo el Sorbe en su caminar paleozoico es absolutamente imoermeable. En sus últimos Kilómetros entra en terrenos terciarios del Eoceno, algo de Oligoceno y entra en el valle del Henares con su formación miocénica y su extenso Cuaternario, comenzando a ser permeable sólo a unos pocos Kms. de su desembocadura, con un subalveo tan fuerte como el del Henares.

El Henares, nace en el flanco S.O. de Sierra Ministra

con su matriz hidrológica-geográficamente ibérica, dirigiéndose su curso por fallas longitudinales NE - SO. En el horizonte de su nacimiento formado por una extensísima formación Jurásica Media (Doger) e Infra (Lias) de calizas magnesianas con ángulo de buzamiento muy fuerte, arrumbado normalmente a la Sierra y a medida que desciende hacia el SO. se llega a un Terciario profundo oligoceno con tectónica más suave (salvo estratos eocénicos que siguen la mancha del Secundario). El Henares antes de recibir al Dulce atraviesa una gran mancha triásica, que forma un gran anticlinal por cuya rama N. discurre el Henares. El Terciario oligoceno se encuentra poco plegado y los Neogenos guardan la horizontalidad perfecta.

Con relación a la fosa del Tajo por donde discurre el Henares tras recibir al Sorbe, debemos señalar su complejidad por razones sedimentológicas. Tras las fases paroxismales alpinas parecen haberse originado otras tardías que han causado reajustes de bloques de basalto con el consiguiente efecto sobre los sedimentos superiores. Algunas áreas fueron elevadas por nuevos juegos de bloques del zócalo, formándose a sus expensas las rañas pliocénicas de las que hablamos anteriormente.

#### 1-5 Distribución de terrenos en la cuenca hidrográfica.

Como ya hemos visto, la cuenca del río Henares es de lo más extensa, pues abarca desde el extremo E. del Sistema Central hasta la totalidad de la Unidad Ibérica. Tras abandonar esta unidad, la mayor parte de su recorrido,

antes de alcanzar el Jarama se desarrolla sobre un Cuaternario al que subyace un mioceno detrítico de facies Guadalajara.

La distribución de materiales aflorantes es:

| <u>Terrenos</u>   | <u>Superficie</u> | <u>Superficie (%)</u> |
|---|-------------------|-----------------------|
| . Granitos y Gneis  | 173               | 4                     |
| . Paleozoico indiferenciado.  | 644               | 15,5                  |
| . Bunt y Muschelkalk (Trias) (subyaciendo a los niveles de yesos y arcillas del Keuper) | 211               | 5                     |
| . Keuper (Trias)  | 240               | 6                     |
| . Jurásico  | 317               | 7,5                   |
| . Cretácico (muy erosionado)  | 221               | 5                     |
| . Paleoceno   | 298               | 7                     |
| . Mioceno detrítico.  | 1.195             | 28,5                  |
| . Mioceno facies central  | 48                | 1                     |
| . Mioceno facies del Páramo   | 299               | 7                     |
| . Cuaternario (cantos rodados diversos algo empastados con arcilla)                     | 529               | 12,5                  |

#### 1-5-1 Unidades Hidrogeológicas.

Atendiendo a la permeabilidad de los materiales que recorre el Sistema Sorbe-Henares podemos decir:

a) El río Sorbe nace en terrenos de calizas de los Páramos.



mos que son permeables por fisuración. Por debajo de Galve entra en terrenos paleozoicos y hasta el embalse del Pozo los Ramos, recorre una formación silúrica, compuesta por rocas cristalinas y metamórficas que son totalmente impermeables. Desde aquí hasta Muriel atraviesa una estrecha banda de calizas cretácicas permeables por fisuración, y desde Muriel a Gueleña una capa de arenas y arenas arcillosas miocénicas permeables por porosidad. A partir de aquí entra en un manchón oligocénico formado por arcillas y margas yesíferas terciarias impermeables y finalmente vierte al Henares en un Cuaternario formado por gravas y arenas aluviales permeables por porosidad.

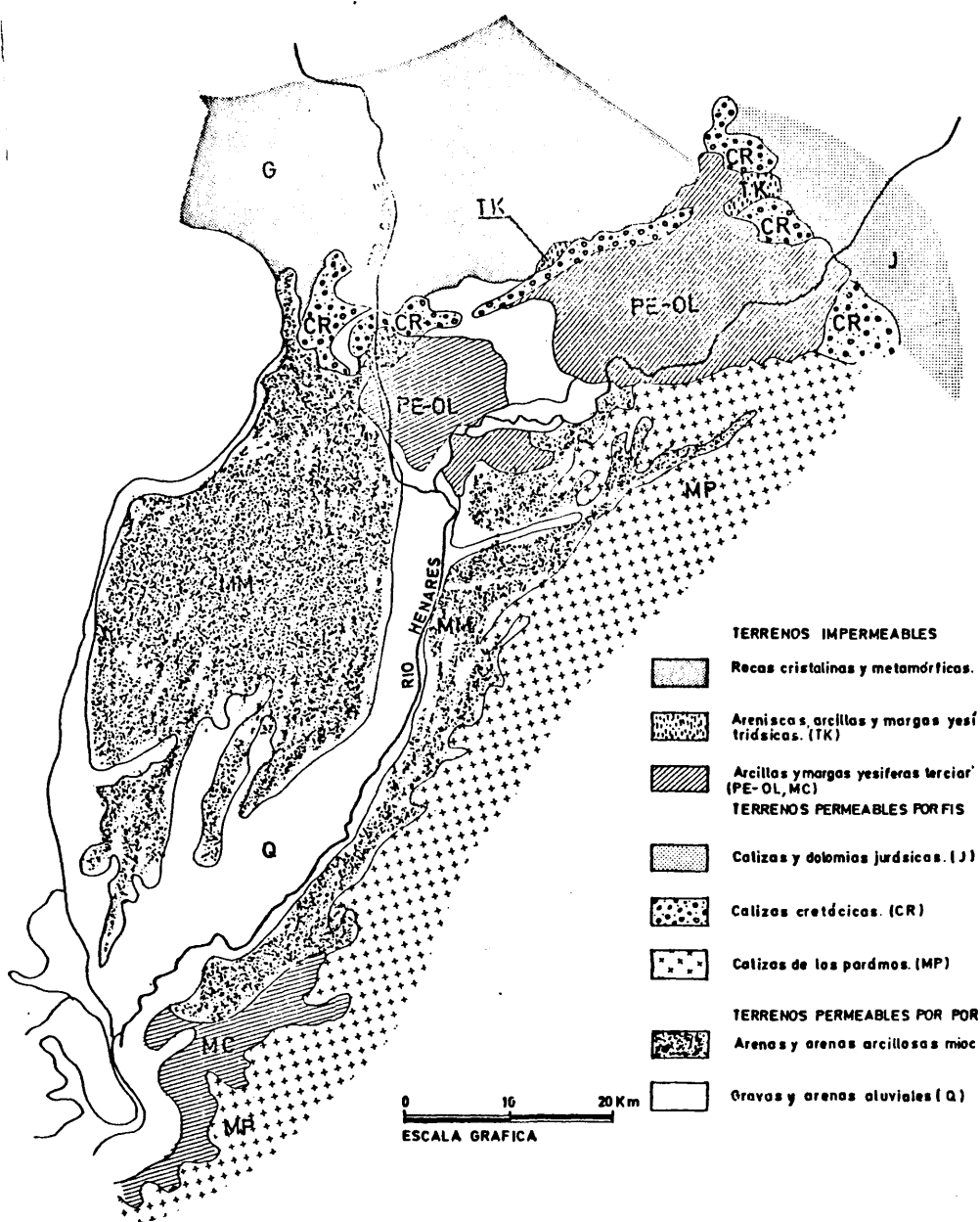
b) El río Henares, desde su nacimiento hasta el Sorbe, atraviesa los siguientes terrenos:

- 1) Areniscas, arcillas y margas triásicas Keuper (hasta el arroyo Regañan) impermeables.
- 2) Calizas y dolomías jurásicas permeables por fisuración.
- 3) Arcillas y margas yesíferas terciarias impermeables.

c) A partir de recibir al Sorbe, el Sistema discurre dea de entonces por un cuaternario indiferenciado de arenas y gravas permeables por porosidad con una eficacia que oscila entre el 10 y el 20 % . Este gran manto acuífero-déluvial da origen a muchos pozos, norias y demás tipos de captaciones y está constantemente alimentada por las aguas del Henares, incrementadas por el Sorbe y demás pequeños afluentes. El caudal de estas aguas es muy elevado y circula a bastante velocidad pues se forman múl-

tiños brazos de riachuelos ocultos, siendo su profundidad pequeña (unos 4 mts.) por lo que resulta económica su captación (p. ej. en el Polígono Industrial de Guadalajara).

Plano IV: Unidades Hidrogeológicas.



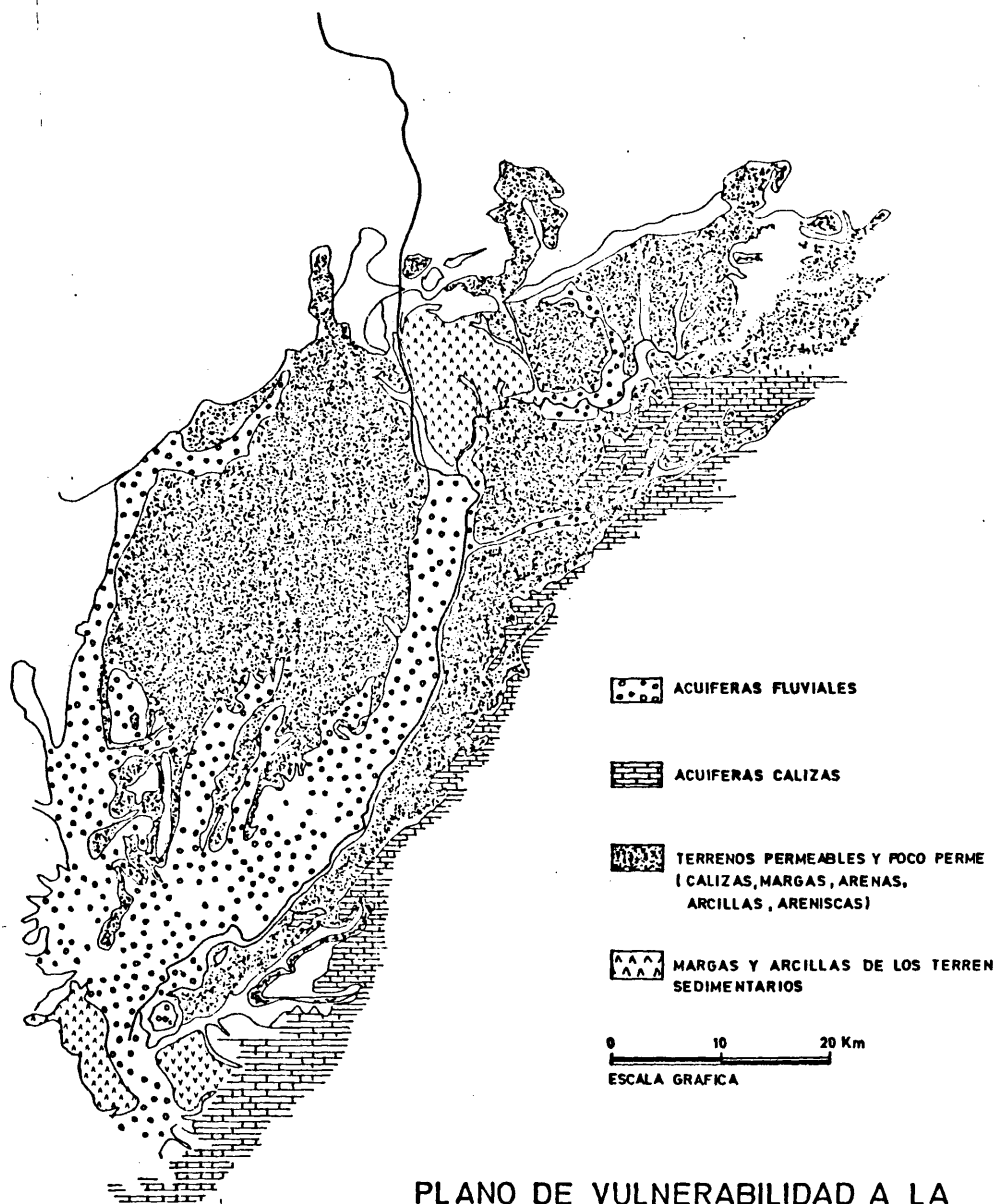
**UNIDADES HIDROGEOLOGICAS**  
(Fuente: M.O.P.)

#### 1-5-2. Vulnerabilidad de los acuíferos.

Para terminar con este apartado es interesante señalar algo al respecto de como esta estructura geológica influye en la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del sistema y así diremos:

- a) El río Sorbe (salvo en su crenon en el que una supuesta contaminación se propagaría rápidamente por terrenos fisurados), hasta los terrenos de calizas cretácicas, atraviesa terrenos eruptivos, con lo que el peligro de contaminación está limitado a las aguas superficiales. Las únicas posibilidades de polución sólo podrán ser locales y ráoidas en las aguas subterráneas donde el agua circula por fisuración.
- b) Al atravesar las estrechas franjas calizas, la contaminación que allí se produzca puede propagarse rápidamente por terrenos fisurados.
- c) Desde aquí hasta el final del Sistema, tanto el Sorbe como el Henares, desde la Alarilla donde se juntan, entran en terrenos muy vulnerables a la contaminación, siendo los acuíferos aluviales libres los que presentan una máxima vulnerabilidad a la contaminación, debido a la propagación relativamente rápida de los contaminantes que entran en el acuífero a través del río o por infiltración directa.

Plano nº V: Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos.



**PLANO DE VULNERABILIDAD A LA  
CONTAMINACION DE LOS ACUIFEROS**  
(Fuente: M.O.P.)

#### 1-6 Edafología del Sistema Sorbe - Henares.

Ha sido profusamente estudiada por Rodorrey D.T. Con una cierta relación con la estructura geológica estudiada los suelos que bordean al sistema Sorbe - Henares son cronológicamente de la fuente a la desembocadura:

- Rendzinas
- Suelos poco evolucionados sobre sedimentos margosos.
- Suelos poco evolucionados sobre areniscas y suelos arenosos.
- Tierras pardas subhúmedas (Galve hasta Valverde de los Arroyos).
- Xeroranker sobre pizarras cuarcitas, esquistos y gneis asociadas a tierra parda meridional y litosuelos. (desde Valverde hasta debajo del Pozo los Ramos)
- Tierras Pardas Meridionales sobre areniscas, asociadas a suelos poco evolucionados, ranker y litosuelos silícicos.
- Xeroranker (Muriel).
- Rendzinas.
- Tierras Pardas Meridionales pedregosas con pseudogley, sobre sedimentos detríticos silícicos.
- Suelos pardos no cálcicos sobre sedimentos detríticos silíceos, asociados a planosuelos, suelos verticales y tierra parda meridional (Mierla - Beleña).
- Xerorendzinas sobre margas yesíferas, areniscas y calizas, asociadas a suelos poco evolucionados, rendzinas, pardas calizas y litosuelos calizos (altura de Torrebeleña)

- Suelos pardos no cálcicos.
- Suelos rojos mediterráneos sobre limos fluviales en terrazas altas, a veces con costra, asociados a pardos no cálcicos, pardos calizos y xerorendzinas (justo abajo de Cerezo de Mohernando).
- Suelos poco evolucionados sobre limos fluviales en primeras terrazas (hasta confluencia con el Henares) y desde aquí a lo largo de todo el Sistema:
- ORILLA DERECHA
- Suelos pardos no cálcicos sobre limos fluviales en terrazas medias (hasta el final).
- ORILLA IZQUIERDA
- Suelos pardos no cálcicos (hasta Heras).
- Suelos pardos calizos sobre arcillas sabulosas calcificadas asociadas a suelos poco evolucionados (hasta el final).

En superficie los suelos más importantes en el sistema estudiado son las Tierras pardas subhúmedas y el Xero-ranker para el Sorbe y los suelos poco evolucionados sobre limos fluviales en primeras terrazas, mostrando su diferenciación según la margen del río, en suelos pardos no cálcicos sobre limos fluviales en terrazas medias (en la margen derecha) y en suelos pardos calizos sobre arcillas sabulosas calcificadas asociadas a suelos poco evolucionados (en la margen izquierda) debido a la asimetría del Valle del Henares.

A continuación pasamos a considerar las principales ca-

racterísticas de estos tipos de suelos:

Tierras Pardas subhúmedas (sobre pizarras, esquistos, gneis y cuarcitas).

Se trata de suelos de perfil A/(B)/C , es decir suelos cuyo horizonte B está constituido por cambios físico-químicos de la estructura de la roca madre. Es un suelo de las zonas de mayor altitud y humedad correspondiendo se con el paleozoico. Presenta un horizonte A de mayor espesor que el de las clásicas tierras pardas meridionales, predominando el moder mulliforme.

Sobre estas rocas, predominantemente ácidas, los suelos son pobres en sustancias nutritivas (oligotróficos) y muy ricos en materia orgánica poco descompuesta. (Algunas de estas tierras pardas proceden de esquistos arcillosos con formas más ricas en elementos finos siendo entonces frecuentes los signos de gleyzación). (1)

Estos suelos van asociados normalmente al ranker (como estadio inicial de formación) y a litosuelos (como estadio final erosivo) con abundantes afloramientos rocosos y pedregosidad.

No son suelos de valor agrícola.

(1). (Suelos que por encharcamiento temporal se empobrecen en  $O_2$  creando un medio reductor que unido a un pH ácido movilizan el Fe, dando a los horizontes unos colores determinados)

Xeroranker (sobre pizarras cuarcitas, esquistos y gneis)

El xeroranker representa un estado de intensa erosión



dentro del área climática de las tierras pardas meridionales. En nuestro caso al sufrir el suelo mayor erosión que influencia de los agentes formadores, su sentido es degradativo y llegamos indefectiblemente al litosuelo, totalmente impracticable para la agricultura. Sólomente allí donde abundan Quercus y Cistus sus sistemas de raíces permiten la evolución hacia tierras pardas, en los otros lugares la erosión es tan intensa llegando a descubrir los materiales silíceos, donde hay esquistos arcillosos más fácilmente meteorizables, se descubren tierras pardas, pero éstas son escasas.

En general, podemos afirmar que el contenido de estos suelos en humus es bajo (mull-moder pobre en ácidos húmicos y rico en ligninas).

Debajo del horizonte húmico hay una pequeña zona de transición al material C que es la roca madre alterada mecánicamente sin liberación ni de Fe ni de Al. Su pH está cercano a la neutralidad debido a la reducida lixiviación y los suelos tienen capacidad de cambio muy pequeña, debido a la escasez de materia orgánica.

Son suelos agricolamente muy pobres, con difícil aprovechamiento incluso para pastizales ya que su débil espesor afecta grandemente a la economía de agua. Su vegetación está constituida por Jara y Aliaga con algunos pastos naturales.

Suelos pardos no cálcicos (sobre limos fluviales en terrazas medias).

El material procede de los productos de erosión de la

Cordillera Central y está constituido por arcosas ó por arenas de grano grueso no consolidadas procedentes de granitos y gneis.

Sus horizontes son del tipo Ap/B/C (Ap = horizonte antrópico, parte del horizonte A afectado por las labores humanas) muy pobres en humus y por lo tanto en Nitrógeno. Son suelos que se extienden desde la confluencia con el Sorbe, por toda la margen derecha del Henares, formadas sobre un material originario producido por aluviones del Henares y del Sorbe, que si en su base son gravas, sobre el canturreal existen capas de limos fluviales de inundación con potencia variable. Podemos decir que predomina la formación de suelo pardo no cálcico.

Forman una unidad de gran interés agrícola, constituyendo la base de la agricultura intensiva de esta comarca de baja campiña. Sus productos agrarios (hortícolas e industriales) son ricos, predominando los monocultivos cerealistas con alternativas de año y vez y en rotación a veces con leguminosas. Inclusive la parte de la unidad, no regada por el canal de Henares, tiene un aprovechamiento agrícola intensivo.

Suelos pardos calizos (sobre arcillas sabulosas calcificadas asociadas a suelos poco evolucionados).

Son suelos de horizontes A/(B)/C, con presencia de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en todos sus horizontes: esta riqueza en carbonatos hace que la destrucción de la materia orgánica por oxidación se produzca rápidamente y que su horizonte A presente colores claros muy poco patentes.

Se extienden en la margen izquierda del Henares y pese a estar sus sedimentos clasificados como arcillas sabulosas, realmente se trata de una serie sedimentaria muy compleja. Al ser muy intensa la erosión sobre los materiales blandos los suelos que predominan son bastante recientes (llegan a aparecer suelos con carácter tirsoi de (= últimos estados fríos de la glaciación Würmiense, p. ej. a la altura de Chiloeches y de Torrejón).

Estos suelos, debido a sus buenas características físico-químicas, permiten un intenso aprovechamiento agrícola ofreciendo un gran rendimiento, lo que también gracias a su proximidad a los núcleos urbanos los hace aún más interesantes.

Su único problema, es el relieve accidentado que los afecta, lo que unido a la naturaleza blanda de sus materiales los hace muy susceptibles a la erosión.

## BIBLIOGRAFIA.-

- Alia Medina, M.  
Sobre la tectónica profunda de la fosa del Tajo.  
Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España.  
(1.960)
- Alonso, J., García, I. y Oriol Riba.  
Arcillas miocenas de la cuenca del Tajo.  
Cur. y conf. del Inst. Lucas Mallada. Fasc. IX.  
(1.954)
- Bard, J.P., Capdevila, R. y Matte, Ph.  
La structure de la chaîne hercynienne de la Meseta Ibérica: Comparaison avec les segments voisins.  
T.I - Ed. Technip. Paris (1.971).
- Benaya, J., Perez Mateos, J. y Oriol Riba.  
Nouvelles observations sur la sédimentation continentale du bassin tertiaire du Tajo. V Congres Int. de Sédimentología.  
Inst. Edafolog. Agrobio. C.S.I.C. (1.958).  
Asociación de materiales detríticos en los sedimentos de la cuenca del Tajo.  
Anales de Edafología y Agrobiología T. XIX nº 11  
(1.960).
- Capote, R. y Carro, S.  
Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo.  
Est. Geol. Vol. XXIV nº 1-2 (1.968).
- Catalan la Fuente.

La química del agua.

Ed. Blume.

- Corchón Rodríguez F.

Estudio hidrogeológico del cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara).

Tesis doctoral (1.973).

- Corrales, I.

Estudio Geol. de la cordillera ibérica en los alrededores de Sigüenza.

Cuadernos de geología ibérica (1.970).

- Crusafont, M., y Truyols, J.

El mioceno de las cuencas de Castilla y de la Cordillera Ibérica.

Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España nº 60 (1.960).

- Cutanda, J.

El Terciario continental de Villaseca de Henares.

Cuadernos de geología ibérica (1.970).

- De Pedro, J. María.

El río Henares ruta y antesala de Madrid.

Ed. Dirección General de Obras Hidráulicas (1.973)

- Guerra Delgado

Mapa de Suelos de la provincia de Guadalajara.

Patronatos "Alonso de Herrera y Jose M<sup>a</sup> Quadrado"

Madrid, 1.970.

- Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.)

Mapa Geol. de España. Escala 1:50.000.

Hojas núms.: 433, 434, 462, 484, 485, 486, 509,  
533, 535, 559, 560, 581, 582, 583.

Mapa Geológico de España. Escala 1: 200.000.

Hojas núms. 5-5, 6-5, 5-6, 6-6. (1.971-72).

- Instituto Nacional de Colonización (I.N.C.).

Prospección geológico-geofísica de aguas subterráneas en los términos municipales de Yunquera de Henares, Mohernando, Humanes, Cerezo de Mohernando y Robledo de Mohernando (Guadalajara) (1.962).

Prospección geológica-geofísica de aguas subterráneas en los términos municipales de Huérmeces del Cerro y Aragosa (Guadalajara) (1.962)

- Kindelan, V.

El sondeo de Alcalá de Henares.

Mem. del Mapa Geol. de España. Escala 1:50.000

Hoja nº 560. Alcalá de Henares (1.928).

- Pérez Regodón, J.

Guía geológica, hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid.

Mem. del Inst. Geol. y Min. de España. T. 76  
(1.970).

- Pulido Carrillo, Jose Luis.

El Acuífero Vindoboniense en el E. de Alcalá de Henares.

I. Cong. Hispano-Luso-Americano de Geol. Económica. Sección Hidrogeología (1.971).

- San José Lancha, de, M.A.

Síntesis hidrogeológica de la cuenca del Tajo.

- I. Cong. Hispano-Luso-Americano de geología económica. Sección Hidrogeología (1.971).
- Sanchez de la Torre, L., Agüeda A. y Goy, A.  
El jurásico en el sector central de la cordillera ibérica.  
Cuadernos de geología ibérica.  
Vol. II Madrid (1.971).
  - Servicio Geológico de Obras Públicas.  
Informe hidrogeológico sobre la zona comprendida entre Alcalá de Henares y San Sebastian de los Reyes para el abastecimiento de agua de Torrejón de Ardoz. (1.971).
  - Solé Sabarís, L. y Colabs.  
Geografía Universal. T. IX.  
Península Ibérica: I. Geografía física.  
Barcelona 2ª Ed. (1.951).
  - Torcal Sainz, R., y Menéndez Cornejo, A.  
Tectónica de la zona de Tamajón.  
I. Cong. Hispano-Luso-Americano de geología económica. Sección Geología (1.971).
  - Mapa Provincial de Suelos de Guadalajara.  
Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología  
José María Albareda. Madrid (1.970).

## 2. Geografía física general del Sistema.

2.1.- Régimen Hidrológico y factores que lo influyen

2.2.- Variación estacional del régimen fluvial

2.2.1.- Crecidas y Estiajes

2.3.- Estudio Sedimentológico

2.4.- Climatología General de la Zona

2.4.1.- Pluviometría

2.4.2.- Evotranspiración, Aportaciones medias y Déficit  
de escorrentía

2.4.3.- Diagramas Termopluviométricos

2.5.- La cubierta vegetal del Sistema Sorbe-Henares

2.6.- Utilización de los recursos

2.7.- Selección de Estaciones de Muestreo

2.8.- Bibliografía



## 2. Geografía física general del Sistema

"El río en sí, es después de los factores geológicos internos, el factor que más influye en el modelado del relieve de la zona por donde discurre, siendo la climatología, el relieve, el régimen de precipitaciones etc. los factores que determinan la ambientación geográfica particular de cada río" (Catalán la Fuente).

La geografía física general del Sistema ha sido estudiada por José M<sup>a</sup> de Pedro y remitimos al lector interesado a su libro "El río Henares ruta y antesala de Madrid" aquí sólo nos limitaremos a un breve resumen.

### El río Sorbe

Es un río que nace en las estribaciones de las Sierras de Ayllón y de San Benito a unos 1.600 mts. sobre terrenos terciarios formados por calizas de los páramos. Por encima de Zarzuela de Calve y a la altura de la Peña de Osar, ya en terrenos paleozoicos, recibe al río de la Hoz (también llamado Sorbe occidental en el mapa Geográfico y Catastral) que ha nacido en un circo montañoso en el pico de la Tiñosa (1.930 mts) de terrenos paleozoicos y que por su elevada altitud las grandes acumulaciones nivales originarán importantes caudales de deshielo. Formado el pequeño Sorbe, va aumentando su caudal con la aportación de pequeños barrancos hasta que por su margen izquierda se le une el río Lillas, que lleva abundante caudal debido a que recoge toda la escorrentía de la Sierra de Ayllón (aparte de la que recoge el Sorbe). Durante todo este trayecto, dada la naturaleza litológica

ca de los sistemas paleozoicos, el río va encañonado, abriéndose camino "serrando" materiales duros (cuarcitas y pizarras) a través de la encrucijada de fallas que se forman al romperse los pliegues isoclinales continuos que definen la tectónica de estas formaciones arcaicas. (Esto se patentiza, cuando al unírsele el río Lillas hace un gran escalón hacia el S. y camina otra vez O - E, tropezando con una fuerte formación de cuarcitas, en las que se percibe por su mayor fragilidad una serie apretada de pliegues isoclinales). Unos Kms. aguas abajo, viene un segundo escalón con la desembocadura del Sonsaz y ya aparece un cambio de terreno en forma más esquistosa con gneis y grauvacas metamórficas, formadas por geodinamometamorfismo como se demuestra por lo enormemente empujada y plegada que aparece la zona, pese a la no existencia de grandes fallas, salvo por la que discurre el río y sus escalones. Todo el tramo del río, desde el Lillas hasta Muriel, está lleno de curvas y contracurvas, como si se tratara de un río divagante, cosa que no es al caso pues lo que ocurre es que el Sorbe tiene un régimen muy torrencial y el río se ha ido haciendo camino por los materiales más blandos (pizarras arcillosas silúricas) y más rotos (rocas cristalinas metamórficas) y como en esto hay variación, ha tomado dentro de una tectónica violenta, que señala a grandes rasgos el rumbo, los caminos cortos más fáciles. Todo este tramo del río es bastante inaccesible (por lo cual, sólo hemos podido controlar constantemente una sola estación en la cola del Pozo los Ramos). A partir de Muriel,

continúa el río bastante crecido, cortando esquistos y gneis metamórficos del Cambriano (que empezaron cerca de la desembocadura del Sonsaz) apareciendo terrenos cuarcitosos del Siluriano superior, con algunos afloramientos secundarios del Cretáceo superior. A 9 Kms. abajo de Muriel nos encontramos con la construcción del embalse de Beleña, donde antes ya ha comenzado a aparecer un Terciario bastante potente, formado por pisos del Eoceno superior y del Oligoceno, con una sucesión de facies y pisos que van desde el Sanoyense con yesos, conglomerados y fuertes lechos de caliza margosa (en los que se encuentra también el Eoceno calizo-margoso). Al llegar a este Terciario, el río que un poco aguas arriba de Muriel comienza a abrir el valle, se ensancha aquí enormemente camino de su fin. Superpuesto a los pisos Eocénico-Oligocénicos se presenta el Mioceno, sistema ya fundamental en el resto de la cuenca del Henares. Por último a medida que se ensancha el valle, se superpone el Cuaternario diluvial que seguirá aumentando en los últimos 10 Kms. hasta su confluencia con el Henares, en el que alcanzará casi los 12 Kms. Allí el río desaparece en la extensa formación cuaternaria aluvial del valle del Henares.

El río Henares desde su confluencia con el Sorbe.

Una vez recogidas las aguas de los ríos Salado, Dulce, Prado, Cañamares, Gornova y Aliendre, en plena desembocadura del Sorbe, frente a Humanes arranca el Canal del Henares destinado para el regadío de la extensa llanura cuaternaria, que pasando entre Azuqueca y Meco termina

a 3,5 Kms. al S. de dicho pueblo. Por su margen izquierda el Henares recibe al Badiel (seco la mayor parte del año) para ya continuando la gran llanura (próximo a Yunquerá y Fontanar) formar curvas y contracurvas y un meandro entre este último pueblo y Tortola. Sin variaciones apreciables pasa tocando Guadalajara, en donde tuerce poniéndose E - O y ajustándose posteriormente a un rumbo N - 40° E, dejando a su derecha Alovera, Azuqueca y Meco y tocando con su contorno E. Alcalá.

En todo este tramo, atravesando la gran llanura cuaternaria, con una anchura de valle de 10-12 Kms, el río por su menor pendiente (0,0034) presenta curvas, meandros y mejanas mudables según las riadas que modifican el cuace del río. Este tipo de geografía física fluvial es debida a la naturaleza de los terrenos blandos que el río ha ido arrastrando, fundamentalmente Miocénico-Sarmantiense y Helveciense-Rudigaliense, cuya gran masa de detritos ha sido arrastrada de los tramos de aguas arriba de perfil más fuerte.

Otra de las características interesantes del Sistema, es que el valle formado es disimétrico, yendo la izquierda del río muy pegada a los montes y en cambio muy alejado a su derecha. La razón de esto radica en los terrenos secundarios del substrato en los que las fallas orientaron al río. Desde aquí su geografía estratigráfica es idéntica hasta su desembocadura en el Jarama, tratándose de una gran llanura cuaternaria, aluvial y diluvial con cerros testigos miocénicos pegados a su margen izquierda y más alejados a su derecha (10-12 Kms) ensan

chándose el valle por ambas márgenes a medida que avanza el río.

Después de Alcalá, el río comienza una gran divagación circunvalando el cerro del viso coronado por la Peña Redada y ya tras vueltas y revueltas, con un perfil casi de tramo divagante y dejando a su derecha a Torrejón muere en el Jarama, sufriendo esta desembocadura, frente a Mejorada del Campo, las inundaciones y el torrencialismo de la conjunción de ambos ríos, lo que ha obligado a la construcción de esboques de Bianchini como protección.

## 2-1. Régimen Hidrológico y factores que lo influyen

Es muy importante conocer el régimen de los ríos por la importancia que tiene la composición química de las aguas en las variaciones estacionales, así como la variación de los sólidos en suspensión y de los sólidos disueltos, básicos para el desarrollo de tal ó cual forma de vida. Junto con el régimen de los ríos es necesario conocer, toda una serie de parámetros que van desde el relieve, hasta la orientación del eje colector, etc. La confederación hidrográfica del Tago da los siguientes datos que caracterizan al Sistema.

### SORBE

$L'$  = Longitud física del río = 75.900 mts.

$L$  = Longitud en línea recta (de la cabecera a la desembocadura) = 50.000 mts.

$S$  = Superficie de la cuenca = 546, 77  $\text{Km}^2$

$L'/L$  = Coeficiente de sinuosidad = 1,286

$P = \text{Pendiente media} = 2,45 \%$

$S/L = \text{Anchura media teórica} = 10,9$

#### HENARES

$L' = 171,700 \text{ mts.}$

$L = 117,500 \text{ mts.}$

$S = 4185,01 \text{ Km}^2$

$L'/L = 1,461$

$P = 0,56 \%$

$S/L = 35,6.$

Comparando estos datos, con los de los demás ríos de la Cuenca del Tajo, podemos concluir que el Sorbe es el río más sinuoso de toda la red del Tajo y también el de máxima pendiente.

Por sus características geográficas y geológicas el río Sorbe es un río estrecho mientras que el Henares es bastante ancho.

#### 2-2. Variación estacional del régimen fluvial.

Dentro de esta variación estacional tendremos que considerar como lo hace Catalán la Fuente:

- a) La abundancia media, que depende de las precipitaciones y de la extensión de la cuenca.
- b) Las Crecidas y Estiajes, que además de lo anterior dependen de la altitud geología y vegetación.
- c) El coeficiente de escorrentía, que puede definirse como la relación entre el gasto anual del curso de agua en la desembocadura y la cantidad de lluvia caída en

el río.

$$C_e = \frac{L}{H}, \text{ siendo } L = \text{Agua de escorrentía} + \text{Agua de manantiales y fuentes.}$$

Los datos que suministran las estaciones de Aforos, como media de un período de 25 años del Sorbe en Beleña y el Henares en Espinillos son:

#### SORBE

(en Beleña)

$$Q = 5,194 \text{ m}^3/\text{sg}; Q = \text{Caudal medio anual}$$

$$Q_c = 40,250 \text{ m}^3/\text{sg}; Q_c = \text{Caudal máximo absoluto}$$

$$Q_e = 0; Q_e = \text{Caudal medio del día más seco del año}$$

$$A = 164 \text{ Hm}^3; A = \text{aportación anual en } 10^6 \text{ m}^3$$

$$I = 4,4; I = \text{Irregularidad intermensual.}$$

$$\uparrow = 0; \uparrow = Q_e \cdot 100 / Q_c.$$

#### HENARES

(en Espinillos)

$$Q = 6,179 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

$$Q_c = 93,270 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

$$Q_e = 0,128 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

$$A = 195 \text{ Hm}^3$$

$$I = 0,0051$$

$$\uparrow = 0,058$$

$$C_e = 0,132$$

Tanto el Sorbe como el Henares tienen un caudal específico medio menor siempre de  $20 \text{ m}^3/\text{sg}$  pero mayor de  $5 \text{ m}^3/\text{sg}$ .

Sorbe: de 10 a  $15 \text{ l/s/Km}^2$

Henares {  $< 5 \text{ l/s/Km}^2$  hasta su unión con el Cañamares  
           {  $5-10 \text{ l/s/Km}^2$  hasta pasada Guadalajara  
           {  $< 5 \text{ l/s/Km}^2$  hasta el Jarama.

- . Consultar Plano de Caudales específicos medios.

Si nosotros comparamos como hace José M<sup>a</sup> de Pedro los datos del Sorbe en Beleña y del Henares en Espinillos, sacamos la siguiente conclusión:

#### RIO SORBE

- . Aportación media (en un período de 9 años) =  $316 \text{ Km}^3$
- . Superficie de la cuenca receptora =  $519 \text{ Km}^2$  en Beleña  
=  $547 \text{ km}^2$  total hasta la desembocadura.

$$Q_m = 10 \cdot \frac{547}{519} = 10,2 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

#### RIO HENARES

- . Aportación media (de 36 años) =  $365 \text{ Km}^3$  (equivale a un caudal medio de  $11,6 \text{ m}^3$ )
- . Superficie de la cuenca receptora =  $4.031 \text{ Km}^2$  en Espinillos;  $4.144 \text{ Km}^2$  Total.

$$Q_m = 11,75 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

Existiendo una anomalía hidrológica, desde el punto de vista de la hidráulica superficial, ya que el Henares completo da apenas un poco más de caudal que el Sorbe. Esto se explica porque el Sorbe es "sorbido" como ya habíamos anteriormente por el sub-alveo del Henares alimentando el acuífero, con lo que vuelve a patentizarse aquí la enorme importancia de la hidrología subterránea y sub-alvea de este sistema, que llega a alcanzar según aforos hasta un mínimo de  $8,65 \text{ m}^3/\text{sg.}$

Si nos referimos al potencial altimétrico podemos decir que el Sorbe es un río de alta montaña, con un primer tramo de perfil muy bravo (10%) que por sus facies lito-



lógicas muy duras ahonda), un segundo tramo en el que ahonda y socava y un último tramo, en el que apenas ahonda y socava mucho. En conjunto es un río muy torrencial que tiene un caudal muy importante.

Con relación al Henares, debemos señalar que es mucho más suave que el Sorbe, teniendo un primer tramo torrencial, que se suaviza continuamente en el segundo tramo y en el tercero, todo él ya metido en terrenos terciarios blandos y disgregables toma un perfil de río casi divagante (aunque no tipifique este estado en su conjunto, salvo en algunos sub-tramos de los últimos 50 Kms).

. Consultar Planos de Pendientes y perfiles longitudinales.

Si seguimos interpretando los datos tenemos que considerar:

- a) El bajo coeficiente de esorrentía del río Henares (0,132), que nos hace deducir que la irregularidad sigue un orden inverso a las precipitaciones pluviométricas, mostrándonos que cuando el río no se alimenta por esorrentía lo hace gracias a aguas de fuentes y arroyos que cubren todo el período de sequía pluviométrica.
- b) Para dar una idea de la variación estacional de los caudales se incluyen los datos del río Sorbe en el Pozo los Ramos en m<sup>3</sup>/sg.

| <u>Oct.</u> | <u>Nov.</u> | <u>Dic.</u> | <u>En.</u> | <u>Feb.</u> | <u>Mar.</u> | <u>Abr.</u> | <u>May.</u> | <u>Jun.</u> |
|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2,39        | 5,85        | 8,32        | 7,71       | 8,24        | 9,88        | 8,13        | 5,05        | 3,07        |

| <u>Jul.</u> | <u>Ago.</u> | <u>Sep.</u> |
|-------------|-------------|-------------|
| 0,91        | 0,45        | 0,60        |

Naturalmente estos datos son sólo relativos, variando anualmente en función del régimen pluviométrico. Con relación al estudio hidrológico del Henares, éste ha sido acometido por Josefina Gómez Mendoza en parte en su tesis doctoral "La campiña del bajo Henares - Estudio de Geografía Agraria - U. Complutense 1.974", en su libro "Historia y fracaso de una agricultura periurbana en la aglomeración de Madrid - Alianza Universidad- y en el tomo CX de la Real Sociedad Geográfica, a los que remitimos a los interesados. limitándonos aquí como en otros apartados anteriores a dar una idea muy breve y resumida.

El Henares es un río de riberas contrastadas, con amplio sistema de terrazas por la derecha y talud abrupto abarrancado por ríos cortos y de cauce profundo por la izquierda, que experimentan continuos rejuvenecimientos en función de las constantes variaciones del nivel de base, motivados por los desplazamientos del Henares hacia este lado.

En su curso bajo recibe por la derecha una serie de afluentes (arroyo de las Dueñas, Cabanillas, Machos, Monjas, Camarmilla, Torote y Ardoz) que interrumpen la llanura formando mesas, pero sólo con circulación estacional.

#### Régimen Estacional

Es el resultado de acciones concomitantes de factores geológicos, climáticos biogeográficos y humanos.

Estudiando los coeficientes mensuales de caudal, es decir la relación de cada media mensual con el módulo, veremos

que:

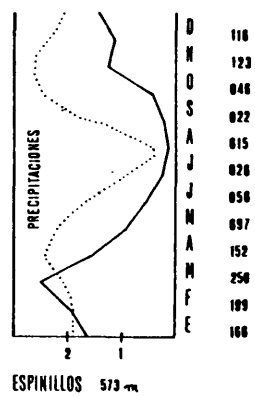
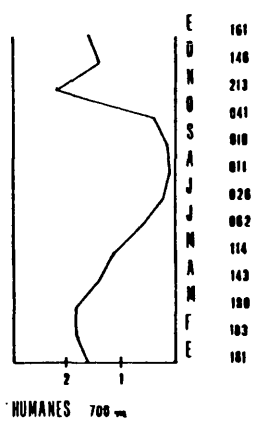
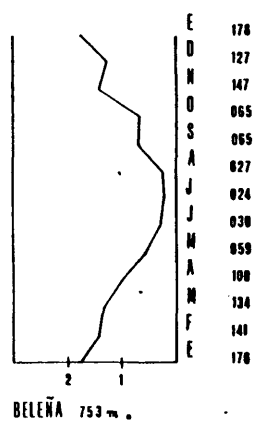
No se trata de un régimen simple caracterizado por dos estaciones o fases hidrológicas, una de abundancia y otra de penuria y por lo tanto, consecuencia de una sólo forma de alimentación de importancia preponderante, sino que aparecen dos máximos y dos mínimos (4 períodos hidrológicos) que nos hablan de la existencia de varios modos de alimentación (ver coeficiente de Módulo). Si comparamos con el régimen de precipitaciones (ej. en Es pinillos) vemos que existe clara diferenciación entre curva pluviométrica y curva de coeficiente de caudal: (ver dibujo).

a) la estación de penuria pluviométrica es más corta que la de escasez hidrológica.

b) Existe asimetría entre ambas: el máximo de lluvias se da en otoño coincidiendo con el máximo secundario en caudales, el máximo secundario de precipitaciones se da en abril posterior en un mes al primario del río, el mínimo secundario pluviométrico (enero) coincide con un momento de abundancia hidráulica.

Conclusión: aunque se puede relacionar al Henares con el régimen pluvial clásicamente admitido para los países templados con aguas altas en la estación fría y bajas en la cálida, debe tenerse en cuenta también que la curva de caudales refleja sobre todo las variaciones térmicas aunque en sentido inverso, lo que implica que es la evaporación el factor preponderante para explicar los coeficientes mensuales de esorrentía.

Si construimos los balances hídricos por el método de



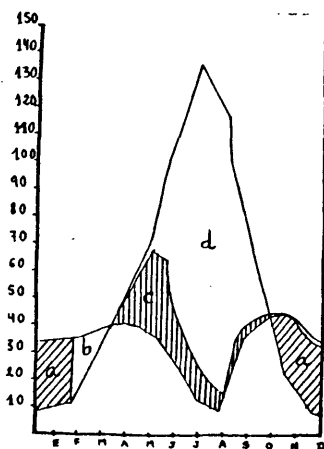
CAUDALES DE MODULO

Thorntwaite, se observa que los déficit de agua llegan hasta el mes de Octubre, durante el resto de otoño y enero se reconstituye la reserva útil del suelo y durante febrero y marzo existe un excedente hídrico que permite lluvia útil que alimente la circulación superficial.

Así nos explicamos:

#### ALCALA

a = reserva útil  
b = excedente  
c = consumo reserva útil  
d = déficit



- a) Época de penurias de Mayo a Octubre con valores siempre menores que el Módulo, que está desfasado sobre la estación cálida y seca (como prolongación de la misma).
- b) En noviembre el caudal rebasa el módulo, pero no en la proporción en la que cabría suponer debido a las precipitaciones puesto que el río tiene que recuperarse de la sequía estival y el suelo debe recargarse de agua. En diciembre algo más seco baja un poco el caudal y en enero empiezan ya a subir los caudales, con el excedente hídrico hasta su máximo (marzo). A partir de entonces la subida progresiva de las temperaturas anula el efecto de las lluvias de primavera y el caudal comienza a decrecer, jugando mayo el papel de mes puente con un coe-

ficiente similar al módulo.

El papel nival, al ser de cabecera baja para el Henares, es forzosamente secundario, y se traduce en retoques en el momento de su máximo de fines de invierno y en el momento de su descenso hacia los estiajes manteniendo en primavera una abundancia relativamente elevada.

Resumiendo: El régimen del Henares es pluvionival, pero el factor nival es secundario y por régimen pluviométrico sería de categoría oceánica sobre mediterránea.

Con relación al Sorbe, éste mantiene su coeficiente en torno al 30% del módulo lo que supone estiajes mucho menos acusados que los del Henares en Escoñillos.

El régimen pluvial es el habitual de los ríos de la Cordillera Central: máximo primaveral de marzo a abril (coeficiente  $\approx 2$ ), mínimo en agosto-septiembre ( $c = 0,10$ ) y un mínimo invernal muy poco profundo.

#### 2-2-1. Crecidas y Estiajes.

Para el Henares, los estiajes con ausencia total de agua tienen carácter regular repitiéndose con relativa frecuencia. Así de 56 meses de agosto, 16 presentan un caudal nulo, para julio son 9 los que carecen de circulación superficial y además el resto de los caudales de estos dos meses se acumula entre 1 y 2 m<sup>3</sup>/sg. Son consecuencia de déficits pluviométricos acumulados que privan de alimentación al río y de incremento en la evaporación por aumento de las temperaturas; los mantos freáticos de cabecera se muestran incapaces de mantener la escorren-

tía mediante restituciones paulatinas a la superficie del agua.

La evolución de los estiajes no tiene relación con la de las crecidas, se traducen en un descenso gradual, siendo los descensos del río paulatinos, penueños y lentos cuanto más bajas están las aguas (siguen la ley del decrecimiento exponencial al igual que ocurre con la pérdida del stock del suelo). Al final del estiaje la fase ascendente es mucho más rápida pudiéndose pasar en horas ó días a una fase de abundancia media. Si no se producen las lluvias de otoño, como en 1.978, la penuria se mantiene más allá de sus límites, llegando hasta Diciembre.

Las crecidas tienen ya un carácter más excepcional no debiendo confundirse con las altas aguas estacionales. Salvo en el caso del Sorbe donde la regulación existente ha cambiado el curso de la crecida, los coeficientes de avenida son mayores en los afluentes que en el colector, por pertenecer a zonas más regadas y tener una menor superficie vertiente. Estas crecidas suelen estar vinculadas al paso de borrascas atlánticas dentro de un régimen de circulación zonal de Oeste.

Normalmente las crecidas del Henares son relativamente limitadas, en realidad simples avenidas, esto se explica por el escaso desnivel de la pendiente del río y por una cabecera baja nunca excesivamente regada. El Sorbe también escapa a las fuertes crecidas debido a la regulación que asegura el trasvase de parte de sus aguas al Jarama. La potencialidad de las crecidas máximas se mide

con el coeficiente A de Myer.

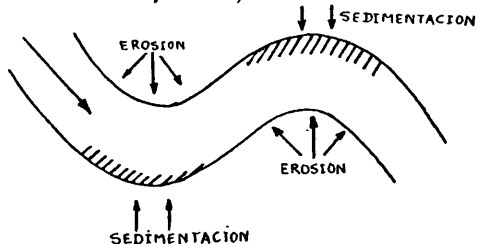
$$A = \frac{Q}{\sqrt{S}} ; Q = \text{débito máximo bruto} \\ S = \text{superficie vertiente.}$$

|                   |         | $\frac{Q \text{ máx (m}^3/\text{s)}}{186,5}$ |
|-------------------|---------|--|
| Sorbe (Beleña)    | A = 8,2 |  |
| Henares (Humanes) | A = 9,6 | 490  |
| " (Espinillos)    | A = 9   | 572  |

### 2-3. Estudio sedimentológico

Las características de los materiales por los que discurre el agua, así como los factores geográficos que condicionan su acción, hacen que el sistema presente una doble peculiaridad, alejada de los modelos clásicos utilizados para la mayoría de los ríos europeos:

a) Por un lado vamos a encontrarnos con la existencia alternativa de zonas profundas y de zonas de "graveras" poco profundas; lo que origina que para cada zona del río, especialmente allí donde existen materiales grandes como integrantes del sustrato, tengamos dos hábitats perfectamente diferenciados. Por otra parte el perfil serpenteante de los ríos del sistema, en algunas partes importantes de su recorrido también va a contribuir a ensanchar aún más este fenómeno, tal y como se esquematiza en la figura:





Las zonas de "graveras" son más frecuentes en toda la zona del Rhitron (desde el nacimiento del Sistema hasta Guadalajara), en donde suelen encontrarse más o menos regularmente espaciadas y en las cuales las piedras más grandes se encuentran cerca de la superficie, lo cual tiene gran importancia para los biota reófilos. Estas zonas alternativas son mucho menos frecuentes en los lechos arenosos, ya que parece que su génesis está relacionada con la existencia de partículas con un tamaño heterogéneo. A veces las graveras crean ciertos obstáculos con lo que dan al flujo de agua una cierta sinuosidad.

b) La existencia de estas zonas alternativas influye directamente sobre la calidad del agua y hace que el río funcione como una depuradora, teniendo lugar los procesos de sedimentación en las zonas profundas y más remanadas y los procesos de aireación, por turbulencia, en las "graveras" donde el flujo es más rápido. Todo ello va a originar, que para cada zona del río, existan al menos dos hábitats diferentes, lo suficientemente representativos, para que sea necesario su estudio complementario para poder definir nítidamente la calidad de cada zona.

El tamaño de los sedimentos depositados, aparte de la dureza del material, es función de la velocidad de la corriente. Esta velocidad, en un río no excesivamente profundo, como en el caso de los de nuestro sistema, es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la pendiente.

$$v = c \sqrt{dS}$$

donde  $c$  = constante que varía con la resistencia del lecho del río a la corriente.

$d$  = principal profundidad

$S$  = pendiente.

La velocidad, también va a ser función del caudal, (cantidad de agua y por lo tanto de la anchura, profundidad y dureza del lecho).

Así en nuestro Sistema, en función de la velocidad de la corriente va a poder acarrear material de diverso diámetro, influyendo sobre el lecho del río y determinando la granulometría que tanto va a influir sobre la fauna béntica.

Pese a que en el Sistema, no son válidos los modelos clásicos, es decir, por lo que ya expliqué antes que en una misma zona vamos a encontrar fondos y orillas diferentes, integradas por material de diversa granulometría, a modo de indicación, para tener una idea de como la granulometría va variando río abajo citaré los esquemas de Nielsen (1.950) y de Einsele (1.960), sólo a título orientativo.

| <u>Velocidad de la</u><br><u>corriente (m/sq)</u> | <u>Tipo de lecho</u> | <u>Diámetro granulo-</u><br><u>métrico (mm)</u> |
|---|----------------------|---|
| 1,21  | Rocoso               |   |
| 0,91  | Cantos gruesos       | Superior a 63                                   |
| 0,60  | Cantos               |   |
| 0,50  | Grava gruesa         | 63 - 20   |
| 0,40  | Grava mediana        | 20 - 6,3  |

|            |              |                    |
|------------|--------------|--------------------|
| 0,30       | Grava fina   | 6,3 - 2            |
| 0,20       | Arena gruesa | 2 - 0,63           |
| 0,17       | Arena Media  | 0,63 - 0,2         |
| 0,14       | Arena fina   | 0,2 - 0,063        |
| 0,12       | Limo         | 20 $\mu$ - 2 $\mu$ |
| Menor 0,12 | Arcilla      | Menor 2 $\mu$      |

La velocidad en relación con la anchura y profundidad varía:

| PENDIENTE | <u>200 m. ancho</u>  | <u>20 m. ancho</u>  | <u>2 m. ancho</u>    |
|-----------|----------------------|---------------------|----------------------|
|           | <u>4 m. profund.</u> | <u>0,5 m. prof.</u> | <u>0,25 m. prof.</u> |
| 0,5       | 150 cm/sg            | 50 cm/sg            | 25 cm/sg             |
| 1         | 250 cm/sg            | 60 cm/sg            | 35 cm/sg             |
| 2         |                      | 80 cm/sg            | 50 cm/sg             |
| 5         |                      | 130 cm/sg           | 70 cm/sg             |
| 10        |                      | 180 cm/sg           | 100 cm/sg            |

Con lo cual para nuestro Sistema, las velocidades que encontramos son:

#### Para el Sorbe

Para la zona alta (a partir de Galve)

Pendiente media  $\approx 0,013$ ; anchura media: 2 m. profundidad media: 0,5-1; veloc. media aprox. 1,21 m/sg; Lecho rocoso

Para la zona de Pozo los Ramos - Desembocadura.

Pendiente media  $\approx 0,008$ ; anchura 10 m; profundidad 1 - 1,5 veloc. media aprox. 0,80 m/sg; lecho de cantos.

#### Para el Henares

Desde Alarilla a Guadalajara

Pendiente media 0,0030; Anchura media: 20 ; profundidad media 0,5 - 1; veloc. media aprox. 0,50 m/sg; lecho de grava gruesa.

Para el Henares desde Guadalajara hasta desembocadura: Pendiente media 0,0016; anchura media 40, profundidad media 1 - 2 ; veloc. media aprox. 0,25 m/sg; lecho de arena.

Estos datos son sólo aroximativos, ya que sólo existen en esquemas ideales, y aunque pueden ser considerados orientativos, pues reflejan lo que ocurre de forma más frecuente, no representan la realidad tal y como es en su verdadera dimensión compleja, siendo muy importante para el Sistema la variación en la dureza de los distintos materiales que explica que un río como el Henares, al que le correspondería en su parte baja otro tipo de granulometría, tenga incluso un perfil de río divagante con un fondo arenoso generado por la blandura general de los sedimentos atravesados.

#### 2-4 Climatología general de la zona.

La climatología del Sistema puede clasificarse corriendo pareja con la clasificación climática que hace H.

Gausson para la provincia de Guadalajara:

a) Una zona con clima mesomediterráneo (con existencia anual de 3 a 4 meses de sequía) que coincidiría con las zonas de altitud inferior a 800 mts. (en nuestro trabajo desde Beleña del Sorbe hasta el final del sistema) y definida como clima semiárido según el índice de Thornt

waite.

b) Otra zona con clima submediterráneo (de 1 a 2 meses secos por año) ( en nuestro trabajo desde el nacimiento del Sorbe hasta Beleña) que se corresponde con el clima subhúmedo de Thorntwaite.

#### 2-4-1-. Pluviometría.

El factor fundamental está constituido por el régimen de precipitaciones acuosas, sobre todo las lluvias que influyen según intensidad, duración, cuantía, valoración estacional etc.

La intensidad es decisiva para la totalidad de los aportes sólidos de un río y la cuantía es a su vez factor del relieve, la orientación de las montañas, la vegetación etc.

Intecsa da como valores los siguientes:

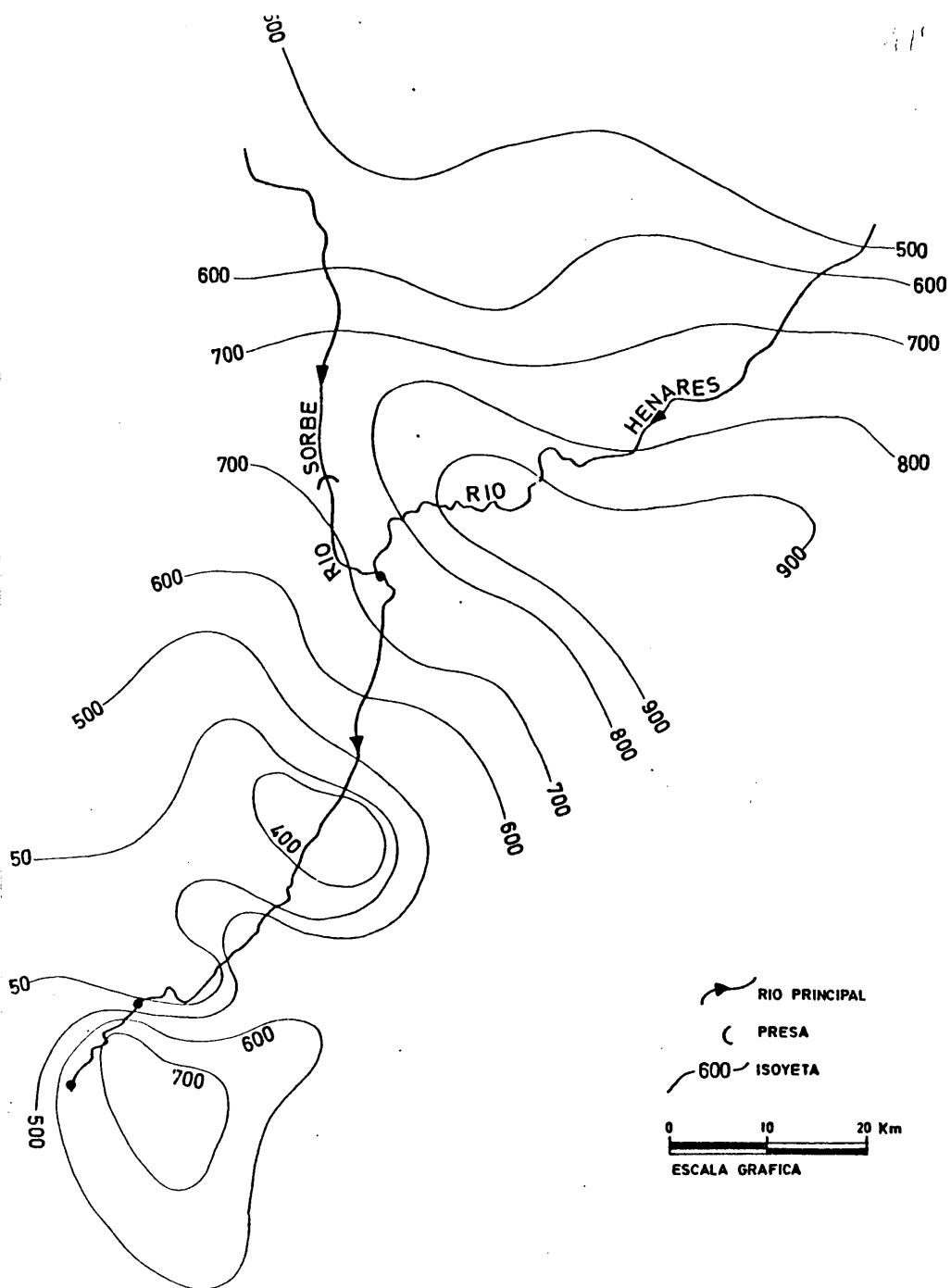
Henares (hasta Espinillos) mm/ m<sup>3</sup>

| <u>Media del período</u> | <u>Año Seco</u> | <u>Año Húmedo</u> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| 1.945 - 1.963            | 1.948-49        | 1.961-62          |
| 625                      | 380             | 790               |
| 2.519                    | 1.531           | 3.184             |

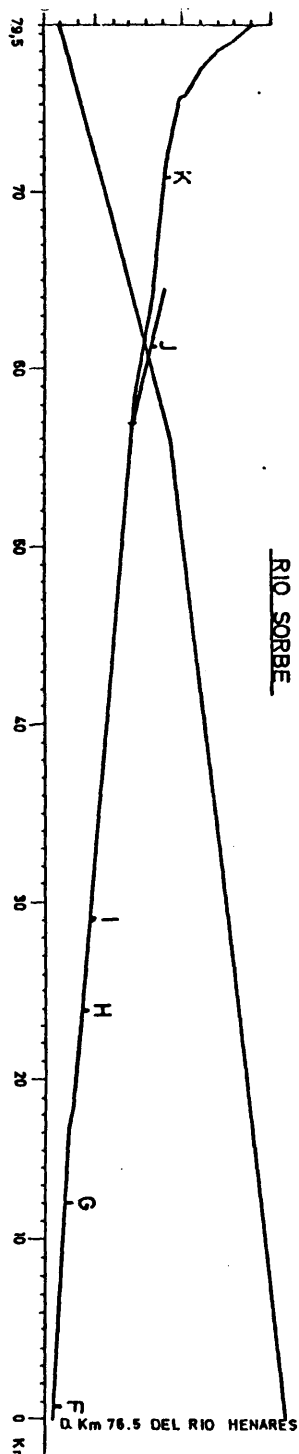
. Consultar Plano de Isoyetas (45 - 63)

El valle del Henares es el que recibe un menor número de precipitaciones isoyetas 400 - 500 ml.

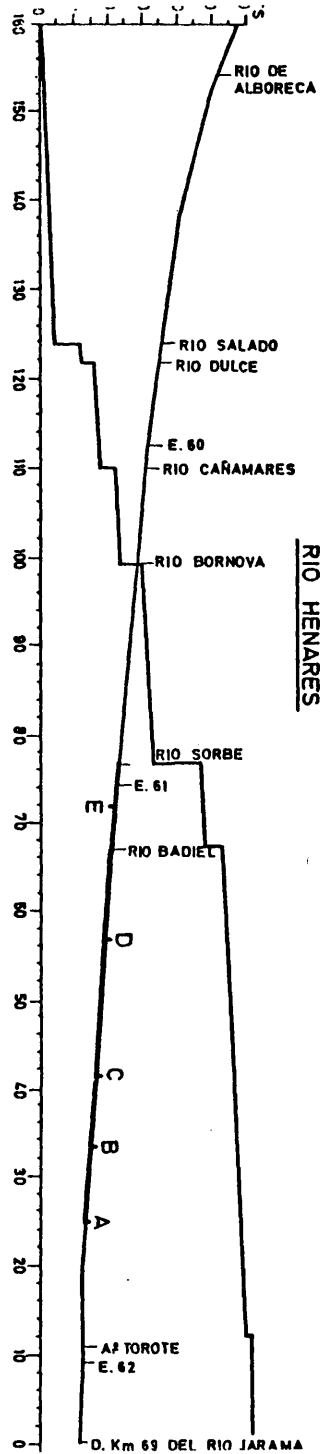
Podríamos reseñar con un esquema el conjunto de factores que influyen sobre el caudal del río en relación con la Pluviosidad:



# PERFILES DE LOS RIOS HENARES Y SORBE

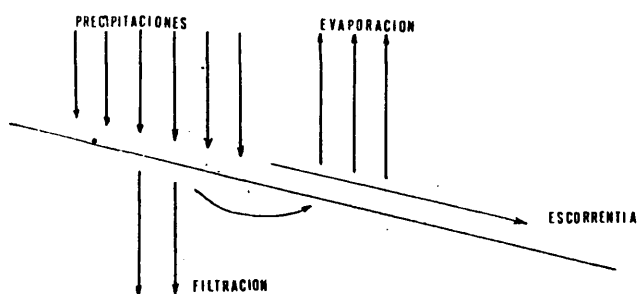


RIO SORBE



RIO HENARES

44



Todos estos factores están interconexionados, así la evaporación depende de la estación y de la cantidad de agua, la filtración depende de la pendiente del terreno, la permeabilidad y la vegetación, los cuales a su vez afectan a la escorrentía.

Según el régimen de alimentación de los ríos predomina la materia disuelta ó la materia en suspensión. Así por ejemplo en aquellos tramos en que sea alta la escorrentía, predominará la materia en suspensión, y más irregular será el régimen del río debido a las crecidas. Por otra parte si la permeabilidad es grande, el régimen del río es más constante (retarda y suaviza las crecidas, sobre todo los que corran internamente), predominando las sales solubles.

Catalán La Fuente analizando los resultados de los últimos años (1.947-1.963) concluye que:

- 1) Los máximos de precipitación corresponden a Marzo y Diciembre, siendo también importantes los de los meses de Enero, Mayo y Octubre.
- 2) Los mínimos se dan siempre en Julio y Agosto.
- 3) Superan la media Enero - Marzo - Abril - Mayo - Octubre y Diciembre.
- 4) La mínima invernal se da en Febrero.
- 5) la mínima estival se da en Julio.



6) la irregularidad de las precipitaciones es muy grande en la cuenca.

Para precisar la combinación de Temperatura y precipitaciones en relación con la circulación fluvial es importante conocer el caudal relativo ó específico, que nos relaciona el caudal con la cuenca.

Así de todas formas podemos comprobar que los valores de un año resultan poco significativos, debido a factores de retrasos ó de restitución por reservas.

Si nosotros partimos de que  $L = H - ER$ ,

siendo  $L$  = precipitación que circula

$ER$  = evaporación real (déficit de escorrentía)

$H$  = precipitación total

el factor que tendríamos que restar sería  $L_r - M_r$ ,

$L_r$  = escorrentía durante el año en curso de las reservas anteriormente formadas en nieve ó tras infiltración retenidas en acuíferos subterráneos.

$M_r$  = cantidad que se almacena de la misma manera para circular a lo largo de los años siguientes.

#### 2-4-2. Evotranspiración, Aportaciones medias y Déficit de escorrentía

Se define como evotranspiración al agua de lluvia que vuelve a la atmósfera.

Según Thorntwaite varía entre 750 y 900 mm para altitudes entre 600 y 700 mts. descendiendo de 15 a 20 mm por cada 100 mts. de aumento de altitud de la estación.

El esquema siguiente nos da idea de las aportaciones anuales medias, precipitaciones, déficit de escorrentía y coeficiente de escorrentía.

|                   | <u>Superficie</u> | <u>Años</u> | <u>Aportación anual</u>   |               |
|-------------------|-------------------|-------------|---------------------------|---------------|
|                   |                   |             | <u>A (Hm<sup>3</sup>)</u> | <u>L (mm)</u> |
| Sorbe (Beleña)    | 519               | 12          | 248                       | 478           |
| Henares (Humanes) | 2.597             | 10          | 364                       | 140           |
| " (Espinillos)    | 4.031             | 27          | 315                       | 78            |

| <u>Años</u> | <u>Precipitación media</u> |               | <u>ER</u> | <u>Coef. escorrentía</u> |
|-------------|----------------------------|---------------|-----------|--------------------------|
|             | <u>P (Hm<sup>3</sup>)</u>  | <u>H (mm)</u> |           |                          |
| 27          | 437                        | 842           |           |                          |
| 27          | 1.665                      | 641           |           |                          |
| 27          | 2.043                      | 596           | 518       | 0,13                     |

Así pues en 27 años en Espinillos es de 518 mm y el coeficiente de escorrentía del 13 %.

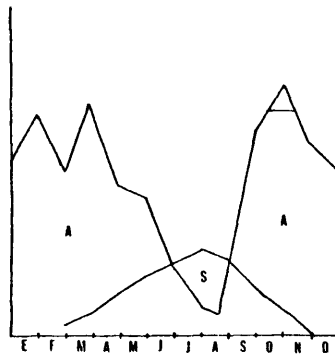
En Alcalá la evaporación real es de 417 mm y de 407 en Torrejón.

El Sorbe en Beleña tiene una irregularidad de 3,07 (69-70) y el Henares de 11,16 en Humanes y 40,42 en Espinillos, de donde se deduce que para el Henares existe una menor irregularidad interanual en cabecera que en el curso bajo, debido a la más regular y mayor pluviometría de las zonas elevadas y el papel de reservorio desempeñado por los terrenos permeables.

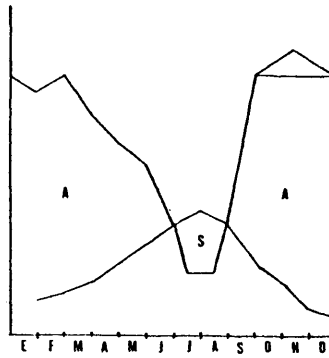
Los diagramas termopluviométricos se aprecian en la figura siguiente:

5060

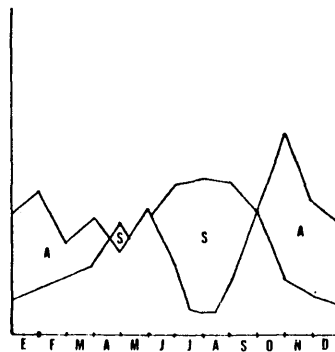
ESTACION 1  
GALVE DE SORBE (1304 m)  
(10-10) 7.15°C 815.13 mm



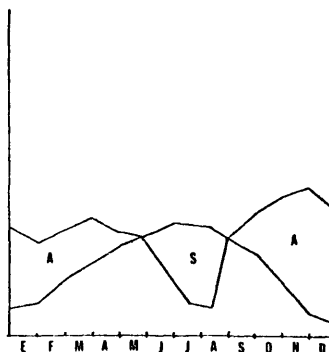
ESTACION 2  
POZO LOS RAMOS (990 m)  
(10-10) 12.17°C 870.80 mm



ESTACION 6  
FONTANAR (690 m)  
(10-10) 16.53°C 578.77 mm



GUADALAJARA (685 m)  
(10-10) 14.27°C 471.47 mm



## 2-5. La cubierta vegetal del Sistema Sorbe - Henares.

El estudio de la cubierta vegetal que rodea a un río es fundamental por dos razones básicas:

a) Porque la abundancia de un tapiz vegetal, permite la sujeción del suelo, que de otra manera es fácilmente erosionado por las precipitaciones y arrastrado hasta el río incrementándose los sólidos en suspensión y la turbidez con lo que eso significa para la vida acuática.

b) Porque en un río en general, la principal fuente de energía es la materia orgánica aloctona, formada principalmente por hojas, polen, insectos caídos etc., estando éstos de alguna forma relacionados tanto en su cantidad, como en su calidad con el tipo vegetal existente y con el régimen de vientos que arrastran las hojas al río. Estas hojas ejercen en el agua una gran D90 encontrándose diferencias muy llamativas entre las de las distintas especies. Para ilustrar esto haré referencia a una experiencia de Nykvist (1.963), el cual extrajo el material soluble de hojas de diferentes especies, dando los siguientes resultados en peso seco, de varias hojas caídas en un día a 25° C (Incluyo esta experiencia porque precisamente algunas de estas especies y otras bastante similares que reseño están presentes junto a nuestro sistema.

El pino : *Pinus sylvestris* - 0,9

El roble: *Quercus pyrenaica* - 7,1

El aliso: *Alnus glutinosa* - 12

De estos datos parece concluirse que las espículas de Coníferas, producen mucho menos material disuelto que la mayoría de las especies de hojas más anchas.

Sobre estas hojas, hongos y fundamentalmente bacterias juegan un papel decisivo en el comienzo de la biodegradación de esta fuente de energía.

Con relación a la cubierta vegetal del Sistema, esta ha sido estudiada en parte por J.E. Hernández Bermejo y H. Sainz Ollero en su trabajo sobre la Sierra de Ayllón, en plan resumen podemos decir que en el Sistema Sorbe - Henares y desde el nacimiento hasta su desembocadura encontramos las siguientes formaciones:

A) Sobre terrenos calizos, desde el Crenon hasta Galve de Sorbe.

. Aulagar - Matorral homogéneo. Abundantes especies caméfitas y nanofanerofitas; Genista scorpius; Helianthemum canum, Fumana ericoica.

. Erial calizo. Pastos sobre suelos ricos en bases. Abunda Pulsatilla vulgaris, Thymus serpyllum, Ononis striata y Plantago maritima.

. Pinar substrato calizo. Sobre suelos rendzíniformes o pardo calizo pedregosos domina "Pinus sylvestris" acompañado por especies que pueden relacionarse con los quejigares como Geum sylvaticum, Lonicera xylosteum, Juniperus communis, Ononis cristata y Anthyllis vulneraria.

. Hidromorfos calizos. Praderas en fondo de valle. La hu-

medad edáfica es el factor determinante. Abunda Molinia coerulea y Filipendula ulmaria. En las zonas más higroturbosas Galium broterianum, Carex gracilis e Hypericum tetrapterum.

B) Sobre terrenos Cámbrico-Silúricos, desde Galve hasta después de la unión con el Sonsaz.

. Erial silíceo. Pastizales sobre suelos silíceos pobres. Pasto tipo Corynephorus canescens. Cobertura escasa y especies cespitosas. Abunda Teesdalia nudicaulis, Plantago subulata, Cerastium gracile y Lupinus hispánica.

. Pinar sobre sustrato silíceo. "Pinus sylvestris" con especies propias de jarales y brezales.

. Jarales. Representan etapas de degradación de la vegetación potencial. Abundan Cistus ladanifer, Lavandula stoechas, Thymus mastichina, Helychrisum stoechas y Rosmarinus officinalis.

. Melojares. Bosque caducifolio de Quercus pyrenaica, acompañado de Luzula forsteri, Satureja vulgaris, Vicia orobus y Primula veris.

C) Sobre terrenos Cámbricos, desde Valverde de los Arroyos hasta el Pozo los Ramos.

. Encinares. Dentro del dominio de Quercus pyrenaica, se desarrolla Quercus ilex, acompañado de una composición florística heterogénea constituida esencialmente por especies que proceden de sus etapas de sustitución.

. Jarales. (de características ya reseñadas).

. Encinares junto a afloramientos rocosos (de características ya reseñadas).

. Jarales atravesados esporádicamente por melojares junto a afloramientos rocosos.

D) A partir de la estación 3 el tapiz vegetal va a corresponderse desde el punto de vista fitosociológico con la clase Alnetea glutinosae, con sus dos órdenes típicos. Así:

a) Sobre terrenos Oligocénicos-Eocénicos, (desde Muriel hasta Beleña e incluso con prolongaciones hasta el Colchón), encontramos el orden "Alnetalia"; estando las alisedas formadas por el aliso negro (Alnus glutinosa) acompañado por sauces (Salix pedicellata) asociados a una típica flora nitrófila integrada, entre otras por Urtica dioica y Rumex sp. La aliseda existe como sitio fresco y umbroso rodeado de jarales. Entre la vegetación acompañante, aparecen como más frecuentes: Medicago sativa, Gallium sp, Conium maculatum (la cicuta), Vicia sativa (la algarrobilla), Muscari comosum (el jacinto de penacho), Plantago meslica (el llanten), Rosa canina, Thymus serpyllum (el serpol), Salvia verbenace etc....

b) Sobre terrenos Cuaternarios aluviales y diluviales.

Desde que el Sorbe se une al Henares, el suelo comienza a ser fuertemente aprovechado en el valle, pasando a ser dominantes los monocultivos cerealistas con rotación a veces con leguminosas.

La vegetación de soto, a partir de Guadalajara, pese a ser

arbórea o arbustiva no es clímax por tratarse de suelo de aluvión con humedad edáfica debida a la alta capa freática correspondiente. Fitosociológicamente pertenece al orden "Populetaia", alianza "Populium albae", siendo arbórea, arbustiva y herbácea con algunas nitrófilas o ruderales, bien por causa del ganado, bien por sobrepasar los límites del verdadero soto.

Entre la vegetación arbóreo-arbustiva citaremos:

- *Populus alba* (alamo blanco)
- *Populus nigra* (el chopo)
- *Salix* sp. (el sauce)
- *Ulmus campestris* (el olmo)
- *Eleagnus angustifolius* (el cinamono ó arbol de plata)
- *Fraxinus angustifolius* (el fresno)
- *Tamarix gallica* (arbusto parietal que está presente ya a partir de la Alarilla)
- *Rubus ulmifolius*.

A nivel de la vegetación herbácea, y hasta las orillas del Henares en verano recogí:

- *Agropyrum repens* (grama oficial. Mala hierba diurética)
- *Anacyclus clavatus*
- *Artemisia campestris* (pinandrol. con hojas blanquecinas en su juventud y luego verdes)
- *Althea officinalis* (malvavisco. Utilizado contra los catarros).
- *Avena esteviles*
- *Brachypodium foenicoides*
- *Gromus mollis*



- *Bromus maximus*
- *Bromus tectorum*
- *Cardaria draba*
- *Centaurea castellana*
- *C. calcitropa*
- *C. salmantica*
- *Chinchorium intibus* (achicoria silvestre)
- *Chondrilla juncácea*
- *Cynodon dactylon* (drma común con rizomas diuréticos)
- *Crataegus monogyna* (espinoalbar)
- *Convolvulus arvensis* (corregüela)
- *Carthamus lanatus*
- *Chenopodium album* (cenizo)
- *Cyperus longus*
- *Cirsium palustre*
- *Dactylis hispania* (grama)
- *Daucus carota*
- *Eragrostis* sp.
- *Eryngium campestre* (cardo corredor)
- *Hypericum perforatum* (corazoncillo o pericón)
- *Hierosfeldia adpressa*
- *Juncus effusus*
- *J. conglomeratus*
- *Lactuca scariola* (con latex somnífero)
- *Lolium rigidum*
- *Medicago sativa* (alfalfa)
- *Mentha rotundifolia*
- *Melilotus albus* (trébol real)

- *Notula aurea*
- *Onopordon acanthium* (cardo borriquero purpúreo)
- *Onomis repens*
- *Paspalum distichum*
- *Phragmites comunis* (carrizo común)
- *Poa bulbosa*
- *Papaver roeas*
- *Plantago major* (llantén mayor)
- *Phalaris arundinacea*
- *Polygonum monspolense*
- *P. hidropiper*
- *Phoeniculum piperitum*
- *Scolymus hispánica*
- *Senecio jacobea* (hierba de Santiago)
- *Scirpus holoschoenus* (junco rojopardusco)
- *Sonchus oleraceus* (cerraja)
- *Sambucus ebulus* (yezgo)
- *Salsola calí*
- *Solanum nigrum* (la hierba moruna)
- *Sorgum vulgare* (sorgo)
- *Tunica prolifera*
- *Trifolium pratense*
- *Thypa spp.*
- *Thapsia villosa* (candileja)
- *Verbascum sinuatum*
- *Urtica dioica*
- *Xanthium macrocarpetum*
- *X. spinosum*
- *Verbena officinalis*

## 2-6. Utilización de los Recursos.

En el Sistema Sorbe - Henares por sus características físicas (amplitud del valle, tipo de suelos etc.) y socioeconómicas pueden apreciarse los siguientes tramos diferenciados entre sí.

A) Forestalmente a lo largo del Sorbe podemos distinguir dos zonas desde su nacimiento hasta Beleña:

- 1) Una caliza con pinares, de los que se extrae madera.
- 2) Una silfíca con escasos melojares aprovechables y predominio del matorral.

En general, sin embargo, podemos decir que por un lado el estrecho cauce del río, unido a la litología regional dominada por rocas ácidas de lenta mineralización, dan lugar en general a suelos muy pobres en bases que son fáciles y rápidamente erosionables, lo que ha originado que secularmente la principal riqueza de esta región fuera la ganadería. Por otra parte el aislamiento, la dificultad de mecanización, la falta de servicios han contribuido mucho a un gran proceso de descolonización rural, traduciéndose este éxodo masivo en el desaprovechamiento de recursos explotables, con el abandono de tierras que han sido posteriormente invadidas por el matoral, aumentando la erosión con lo que se han perdido terrenos cultivables que hacen que sólo el ganado cabrío sea capaz de resistir las nuevas condiciones. Por otra parte, se ha registrado un crecimiento desmedido de zorros y jabalís que destrozan las cosechas de los po-

cos agricultores que aún quedan.

Con relación a esta zona, lo que se observa es que se tiende a transformar esta zona de agrícola y ganadera en un lugar de esparcimiento urbano de Madrid, concretándose esta nueva orientación en una masiva repoblación forestal, con abandono de los pueblos y una extensión de la caza en los cotos que ya han proliferado.

Con relación a la ganadería, que es el sector más importante para su economía, tiene en el sector norte, en la zona caliza, en las que abundan praderas, la concentración del ganado vacuno (Galve de Sorbe) mientras que en las zonas de pizarras y esquistos, predominan el lanar y el cabrío.

B) Desde Beleña el valle comienza a ensancharse con lo que el río atraviesa zonas agrícolas con aumento de asentamientos humanos. Este tramo se extiende aguas arriba de Guadalajara y en él hemos de señalar:

- 1) La toma de agua del Sorbe para abastecer a Alcalá.

- 2) La unión del Sorbe con el Henares.

- 3) El aprovechamiento agrícola del agua del Sistema en el amplio valle cuaternario en el que la sedimentación de elementos procedentes de sistemas terciarios eocenos-miocenos blandos, da un conjunto físico-químico óptimo agrónomicamente, extenso y fértil acompañado por un clima en el que el frío soleado exalta la calidad.

C) A partir de Guadalajara, el agua comienza a ser utilizada masivamente tanto de forma humana como industrial.

Discurriendo el cauce del río casi paralelo al corredor Madrid-Guadalajara, el río recibe los impactos de Guadalajara (50,000 habitantes), Azuqueca (9.789 hab.), Chiloeches (3.945 hab.) y Marchamalo (2.607 hab.) y los impactos industriales de los polígonos industriales del "Galconcillo" (industrias de embutidos, cromados, lejías y plásticos, lácteas, torrefacción y materiales eléctricos) "Henares" (curtidos, productos farmacéuticos, pinturas, derivados lácticos, matadero) y "Miralcampo" (farmacéutica, baterías, transformadores, vidrio y derivados).

D) Junto a estos impactos, el agua es utilizada desde Guadalajara y hasta el río Torote para regadío de distintas zonas agrícolas entre las que destacan el Encín, y la finca de los Catalanes, que tiene hasta manzanos, etc. Como dato preciso podemos decir que la superficie total regada por el río Henares es de 11.240 Hectáreas. En este tramo podemos distinguir 3 zonas claramente diferenciadas:

- a) Desde Guadalajara a Santos en donde el agua viene marcada por lo reseñado en el apartado C.
- b) Desde Santos hasta el Polideportivo de Alcalá, en el que el agua utilizada para el regadío es de buena calidad, debido al proceso autodepurador del río y a la falta de vertidos fuertes y tóxicos.

Los cultivos son bastante variados, destacando:

- 1) de Regadío: Alfalfa, patata, maíz y remolacha.
- 2) de Secano: Phalaris y Festuca.
- 3) Cereales y Leguminosas: trigo, cebada y veza.

De todas formas existen dificultades para el aprovechamiento agrícola de la cuenca relacionadas con la abundancia media escasa, la peligrosa variabilidad interanual vinculada a la irregularidad pluviométrica, la estación de aguas bajas muy prolongada generando dramáticos estiajes y la potencialidad de crecidas, que si no catastróficas, si pueden ser perjudiciales para la vega inmediata. Un simple pero racional regulación del régimen fluvial podría muy bien disminuir estos problemas.

c) Desde Alcalá hasta el Torote, donde el agua está fuertemente contaminada por el vertido urbano de Alcalá (120.000 habitantes) y las descargas de tipo industrial a la altura del Gerafín ó farmacéutico que liberan gran cantidad de antibióticos que acaban por mermar la ya escasa, en cuanto a diversidad, vida del río. Desde este punto el Torote se encarga de resembrar la vida en el sistema, cosa que no llega a conseguir pues el vertido de Torrejón, antes de que el río haya podido autodepurarse, contribuye a alargar la muerte del río casi hasta su desembocadura en el Jarama.

## 2-7. Selección de Estaciones.

La elección de los puntos significativos del río no es una elección al azar, sino que depende del objeto que nosotros persigamos conocer. En este caso concreto, como lo que nos interesa es la ecología y la biología de la contaminación del sistema, el criterio seguido tiene en cuenta:

a) La composición geológica de las litofacies, sobre las que el agua va a actuar dando como resultado unas condiciones físico-químicas determinadas, debidas única y exclusivamente a condiciones naturales.

b) El estudio geográfico de la zona, teniendo principal<sup>l</sup>mente en cuenta, las tomas y sobre todo las descargas que tienen lugar en el sistema, no limitándonos sólo a su mera ennumeración, sino en el caso de las industrias al conocimiento del caudal del vertido y, donde ha sido posible, a la composición de dicho vertido (ó en su defecto, al tipo de actividad realizada y a su producción media) y en el caso de las descargas urbanas, atendiendo a la relación con el número de habitantes y a los <sup>da</sup>tos de población de cada zona. Con ello conocemos el <sup>co</sup>mo los diversos tipos de contaminación afectan a la calidad de las aguas.

c) Otro terçer criterio que he seguido, debido a que el sistema esta sujeto a importantes variaciones <sup>estaciona</sup>les y que para poderles evaluar es necesario un muestreo periódico, se refiere a que los puntos de muestreo seleccionados sean accesibles durante todo el año, lo cual no es posible en muchos tramos de la parte alta del río Sorbe (nieve, falta de caminos etc.)

Con relación a estos criterios, los puntos seleccionados han sido:

Punto nº 1.

Río Sorbe. Puente de la carretera de Galve de Sorbe a Cantalojas. Altitud 1.304 m. Pendiente = 0,013. Km = 61

( de la desembocadura). Río estrecho (2 - 3 m). Márgenes de tipo rocoso. En principio no presenta contaminación apreciable por ser las únicas descargas, aguas arriba, las de Cantalojas (288 habitantes a 9 Kms) y Galve de Sorbe (320 habitantes a 10 Kms). Esta estación al estar ubicada sobre el límite geológico entre terrenos calizos y terrenos silíceos, nos va a permitir conocer el como las calizas de los páramos determinan las condiciones físico-químicas del agua.

Punto nº 2 .

Río Sorbe. Situado en el llamado "pozo de los Ramos". Altitud 990 m. Pendiente = 0,008. Km 29 ( de la desembocadura). Emblase encajado entre laderas de pizarra. En principio tampoco presenta contaminación por no existir aguas arriba descargas urbanas ni industriales. Esta estación recoge por así decirlo toda la influencia de las litofacies paleozoicas silurico-cámbricas que desde aguas abajo del punto 1 han constituido el substrato del río.

Punto nº 3.

Río Sorbe. Situado en el puente de la carretera de Arbancón a Tamajón. Márgenes de tipo rocoso. Altitud 868 m. Pendiente = 0,006. Km 24 (de la desembocadura). Anchura de 4 - 5 m. Al ser Muriel un pueblo de 50 habitantes, el río no presenta contaminación. Esta estación sita sobre un terreno de caliza del Cretáceo Superior, recoge las influencias de este tipo de litofacies, al igual que la de los terrenos miocénicos sitos de inmediato



aguas arriba.

Punto nº 4.

Río Sorbe. Situado en el puente de la carretera de Humanes a Cerezo de Mohernando. Altitud 740 m. Pendiente = 0,0043. Km = 0,9 (de la desembocadura) Anchura = 15 m. En este punto el río Sorbe tampoco ha recibido ninguna descarga industrial y urbana importante aguas arriba. Sólo juegan un pequeño papel puntual una fábrica de harinas y un lavadero. Desde el punto de vista de las litofacies este punto recoge la influencia del final de un Terciario oligocénico-eocénico y el comienzo de un Cuaternario miocénico aluvial.

Punto nº 5.

Río Henares. Situado en el puente de la carretera de Humanes a la Alarilla. Altitud 730 m. Pendiente = 0,004 Km = 72 (de la desembocadura) Anchura = 15-20 m. Este punto tampoco presenta contaminación apreciable, sin embargo tiene la importancia de recoger la mezcla de las aguas "dulces" del Sorbe y las "saladas" del Henares (recordemos que este río recibe entre otros afluentes al "Salado" cuyo nombre ya es lo suficientemente indicativo). Por otra parte, la falta de sujeción de la margen izquierda del río va a permitir un fuerte arrastre por aguas de escorrentía que van a dar al río una alta turbidez cuando esto se produce. El río desde este punto va a presentar un lecho uniforme cuaternario (hasta Mejorada del Campo donde afloran los yesos), siendo fundamental a partir de aquí la influencia de los distintos

tipos de contaminación para determinar la calidad físico-química de las aguas.

Punto nº 6.

Río Henares. Situado en el puente que va desde la carretera de Fontanar a Tortola de Henares. Altitud 690 m. Pendiente = 0,0021. Km = 41,5 (de la desembocadura) Anchura = 20-25 m. Junto con los arrastres por escorrentía se espera contaminación de origen agrícola, fundamentalmente nutrientes y posiblemente insecticidas. En este punto pues, vamos a encontrar el efecto de las pequeñas descargas procedentes de las industrias agrícolas y algunas descargas urbanas procedentes de Humanes, Mohernando, Yunquera de Henares ( con 2.000 habitantes) y Fontanar (900 hab). En general, debido a que estas descargas no son muy importantes y a que el caudal del río es suficientemente grande, su impacto puede apreciarse pero no llega a ser importante.

Punto nº 7.

Río Henares. Situado en el puente que va desde la N-II a Chiloeches. Altitud 630 m. Pendiente = 0,0019. Km = 33,5 (de la desembocadura). Anchura 25-30 m. El punto está situado a 9 Kms aguas abajo de Guadalajara. En principio debe presentar polución compleja integrada por los vertidos urbanos de Guadalajara (50.000 habitantes con un efluente de  $17.000 \text{ m}^3/\text{día}$ ) en gran parte autodepurados y contaminación industrial procedente del polígono industrial de el Salconcillo (industrias de embutidos, lejías y plásticos, lácteas, de torrefacción y materiales eléctricos) y de la Factoría Paulino Moreno de cro-

mados.

Punto nº 8.

Río Henares. Situado en el puente que va desde la N-II a Santos de la Humosa. Altitud 615 m. Pendiente = 0,0018 Km = 25 ( de la desembocadura). Anchura 25-30 m. En este punto se esocera aparte de la contaminación urbana de aguas arriba, contaminación apreciable de tipo industrial debido a las descargas aguas arriba de los polígonos de "Miralcampo" (industrias de productos farmacéuticos, baterías, transformadores, vidrios y derivados) y "Azuqueca de Henares" con industrias importantes como "Duralex y Tudor". También recibe descargas de tipo agrícola.

Punto nº 9.

Río Henares. "La Oruga" situada en el puente de la N-II a la Oruga. Altitud 590 m. Km 19 (de la desembocadura) Pendiente = 0,0014. Anchura 30-35 m. Existe una pequeña represa. La contaminación principal es de tipo agrícola más los vertidos industriales aguas arriba.

Punto nº 10.

Río Henares. "Polideportivo de Alcalá". Situado junto a la Ermita del Val. Altitud 590 m. Km 13 (de la desembocadura). Pendiente = 0,0012. Anchura - 35 m. Este punto tiene el peculiar interés de permitirnos medir el poder autodepurador del río y al mismo tiempo servir de testigo de que es lo que va a ocurrir con la calidad del agua en Alcalá.

Punto nº 11.

Río Henares. "Puente Zulema" Situado en el puente de la

carretera de Alcalá a Pastrana. Altitud 570 m. Km 12 ( de la desembocadura) Pendiente = 0,0011. Anchura 35-45 m. Este punto sirve de testigo de como el río encaja la primera serie de vertidos urbanos de la parte NE de Alcalá.

Punto nº 12.

Río Henares. "El Gerafín". Situado frente a la empresa "Zanussi" Altitud 560 m. Km 11( de la desembocadura) Pendiente = 0,0009. Anchura 35 m. Este punto recoge todo el vertido urbano de Alcalá y colonias dormitorio adyacentes. Comenzando también a impactar la contaminación industrial de Alcalá. Alcalá tiene aproximadamente 120,000 habitantes lo que se traduce en un efluente de 36.000 m<sup>3</sup>/día. El río aquí en verano presenta una capa visible de limos negros y burbujas de metano y sulfhídrico que afloran en la superficie.

Punto nº 13.

Río Henares. "Espinillos". Sito en la desviación del Km 25 de la N-II hacia la central de Aforos. Muestreo justo antes de la desembocadura del Torote. Altitud 573 m Km 9,5 de la desembocadura. Anchura 30 mts. Este punto recoge todo el vertido urbano e industrial de Alcalá, integrado por Gal( que vierte a la alcantarilla directamente) Ibelsa-Zanussi, Sielic, Pinturas Aspes, Galboso y Welcome le petit (que vierte directamente antibióticos con colorantes etc.) y en el podemos decir que muere biológicamente el río, ya que a partir de aquí será el Torote el que en cierto modo "resiembre" la vida en

el sistema, "siembra" que por cierto no es todo lo exitosa que debiera ser, debido por un lado a la cantidad de vertido de Alcalá por autodepurar y por otro lado a la proximidad de las descargas de Torrejón, cuando el río aún no se ha podido recuperar, con lo cual el río ya no sienta cabeza hasta vertirse en el Jarama.

Aparte de en estos puntos, se han realizado muestreos ocasionales, tanto químicos como biológicos en otros puntos del río con objeto de complementar la información que estas estaciones seleccionadas nos suministran para el conocimiento del Sistema.

## 2-9. BIBLIOGRAFIA

- Canal de Isabel II (1.970)  
Memoria 1.951-1.969
- Canal de Isabel II (1.967)  
Proyecto general del aprovechamiento del Sistema  
Guadarrama-Aulencia, con destino al abastecimiento  
de agua al Area Metropolitana de Madrid.
- Canal de Isabel II y Centro de Estudios Hidrográficos  
(1.971)  
Estudio de las disponibilidades del abastecimiento  
de Madrid con las obras en explotación, ejecución  
y proyecto del sistema Jarama.
- Centro de estudios hidrográficos (1.965)  
Datos físicos de las corrientes clasificadas por  
el C.E.H.
- Centro de estudios hidrográficos (1.965)  
Necesidades hídricas de los cultivos en los planes  
de regadío integrados en la cuenca del Tajo.
- Centro de Estudios hidrográficos (1.971)  
Los ríos que abastecen a Madrid.
- Centro de estudios hidrográficos (1.971)  
Estudio hidrológico de los ríos Jarama, Guadarrama,  
Alberche, Tietar y sus afluentes.
- Centro de Estudios Hidrográficos (1.970)  
Métodos prácticos para el estudio hidrológico com-  
pleto de una cuenca.
- Confederación Hidrográfica del Tajo (1.969)  
Informe de previabilidad del plan de riegos de la

## Sagra-Torrijos.

- Confederación Hidrográfica del Tajo (1.968)  
Anteoyecto del embalse de Alcorlo.
- Confederación Hidrográfica del Tajo (1.970)  
Estudio de la explotación del abastecimiento de agua a los núcleos urbanos comprendidos entre Madrid y la Sierra de Guadarrama.
- Comisaría del II Plan de Desarrollo Económico y Social (1.967)  
Recursos hidráulicos.
- De Pedro, Jose M<sup>a</sup>.  
El río Henares, ruta y antesala de Madrid.  
Ed. Subd. de O.A. (1.973)
- Dirección General de Obras Hidráulicas.  
Anuarios de Aforos.
- Dirección General de Obras Hidráulicas (1.971)  
Inventario de recursos hidráulicos de la cuenca del Tajo.
- Dirección General de Obras Hidráulicas e Instituto Nacional de Colonización (1.970)  
Estudio de viabilidad técnico-económica del plan de riegos del Henares.
- Hernandez Bermejo J. E.  
Ecología de los hayedos meridionales ibéricos.  
M. Agricultura. Secretaría General Técnica.
- Mapa Agronómico Nacional (1.965)  
Evotranspiraciones potenciales y balances de agua en España.
- Servicio Meteorológico Nacional  
Boletines mensuales.

## II. Los componentes del Sistema

### A) LOS COMPONENTES ABIOTICOS

1. Criterio de selección de los parámetros físico-químicos.
2. Breve discusión sobre la significación real de los valores obtenidos.
3. Breve discusión sobre la significación biológica y métodos de análisis.
4. Expresión de los resultados.
5. Discusión sobre los resultados obtenidos.
6. Variación estacional de los parámetros medidos.
7. Bibliografía



#### A) Componentes abióticos del Sistema.

##### 1. Selección de parámetros físico-químicos.

Normalmente la selección de parámetros físico-químicos en las aguas continentales varía según el uso (recreacional, urbano, agrícola e industrial) para el cual está destinada el agua. Con relación a la contaminación, el muestreo debe ser lo más completo posible y dentro de las normas mundiales estandarizadas, podemos decir que al menos se requieren 7 tipos de datos diferentes que nos suministren la suficiente información para poder apreciar en su verdadera dimensión el impacto ambiental. Estos datos son:

###### a) Análisis de potabilidad

Incluye determinación de sulfatos, fluoruros y cloruros.

###### b) Utilidad para riego

Incluye determinación de pH, sodio, calcio, magnesio, alcalinidad y dureza.

###### c) Grado de polución y posibilidad de eutrofización

Incluye determinación de ortofosfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal.

###### d) Polución orgánica

Incluye valoración del permanganato y DBO.

###### e) Polución por compuestos orgánicos tóxicos

Incluye detergentes, grasas y aceites, fenoles, cianuros e insecticidas.

###### f) Contaminación por metales tóxicos

Incluye Se, Mb, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn.

g) A estos parámetros hay que añadirles los ya clásicos de gases disueltos (en partículas Oxígeno disuelto y  $\text{CO}_2$ ), temperatura, conductividad y turbidez.

En este trabajo los parámetros seleccionados se han regido según este criterio, salvo en lo relativo a los puntos e y f, en donde por falta de recursos propios, los análisis han sido realizados por la Escuela Nacional de Sanidad.

## 2. Breve discusión sobre la significación real de los valores obtenidos.

Las medidas físico-químicas, a diferencia de las biológicas, son medidas en "tiempo real", es decir son medidas instantáneas, por lo que sólo reflejan la calidad del agua en ese instante. Naturalmente casi todos los parámetros físico-químicos están expuestos a una gran variación, no sólo estacional sino incluso diaria, debida en parte a los seres vivos (ej. juego fotosíntesis-respiración y su influencia en el oxígeno disuelto y en el pH), y en parte también a las condiciones atmosféricas y a que la liberación de los vertidos no suele ser continua (algunas industrias vierten sólo a horas intermitivas de la noche para no ser detectadas). Todo ello hace que los datos físico-químicos, además de ser sólo datos indirectos que nos suministran información de como tal ó cual parámetro pudiera afectar a la vida, sufran ese hándicap que siempre debe ser contemplado al

enjuiciar y valorar los análisis. Para obviar esta última limitación, recientemente han salido al mercado "muestreadores en continuo" que nos reflejan la variación continua de los parámetros seleccionados, sin embargo, pese a la propaganda comercial que dice lo contrario, estos muestreadores son sólo válidos para aguas muy duras oligotróficas o para zonas de lodos casi sépticos, pues si no los sensores se recubren rápidamente de algas que falsean, al crear un microclima específico, los datos obtenidos. En nuestro sistema, el Ministerio de Sanidad colocó 4 de estos sensores (Muriel, A-larilla, Chiloeches y Espinillos) sufriendo todos los problemas mencionados.

### 3. Breve significación biológica de los parámetros medidos y métodos de análisis.

#### a) Factores físicos.

##### - Temperatura.

Es un factor muy importante para la vida, por dos razones principales: 1ª) porqué esta correlacionada indirectamente con los niveles de oxígeno disuelto, es decir a medida que sube la temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua, con lo cual la temperatura llega a transformarse en un auténtico factor limitante para seres poliestenooxibiontes y psicrostenotermos (p.ej. huevos de *Salmo trutta*, plecopteros etc.) 2ª) porque la fauna de los ríos es de "sangre fría" (poiquilotermos) y por lo tanto su metabolismo va a venir directamente in

fluenciado por la temperatura del agua, con lo cual sus posibilidades de desarrollo, reproducción, movimientos, etc. van a tener que adaptarse a los cambios de temperatura del sistema. La temperatura va a estar sujeta a variaciones con relación a la altitud (la temperatura sube proporcionalmente al logaritmo de la distancia al nacimiento del río) (Schmitz 1.961), estacionales e incluso diarias, estando relacionadas todas estas variaciones con alteraciones en la viscosidad del agua, variando el coeficiente de fricción de la siguiente manera (Shadin, 1.956):

| <u>Temperatura</u> | <u>Coef. de fricción</u> |
|--------------------|--------------------------|
| 0,2° C             | 0,01858                  |
| 10,8               | 0,01317                  |
| 20                 | 0,01102                  |
| 30                 | 0,00800                  |

Esto es muy importante porque afecta a otro parámetro físico, la turbidez, ya que a medida que aumenta la temperatura, las partículas en suspensión tienden a precipitar y el flujo tiende a ir más rápido.

La temperatura también ejerce una influencia directa sobre la densidad del agua, la cual tiene gran significación biológica, sobre todo si pensamos que la densidad cambia mucho más rápidamente a temperaturas altas que a bajas, lo que hace que los seres flotantes (p.ej. el plancton) tiendan a hundirse más rápidamente a temperaturas altas.

Pese a existir muy diversos métodos sofisticados para medir la temperatura, aparte de las mediciones dadas por

los sensores de continuo, como el sistema no es muy profundo, me he limitado a medirla con un termómetro de inmersión "in situ" a diferentes horas del día y con el termistor que porta el módulo de campo Kahlsico.

- Turbidez. Sólidos en suspensión.

La turbidez es un fenómeno que acompaña siempre a las aguas en movimiento y es debida a los coloides en suspensión que arrastra el río, entre estos sólidos en suspensión se encuentran arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, microorganismos y plancton. Los efectos biológicos de la turbidez pueden ser importantes y estan relacionados con la parte de luz que "roban" al sistema, con lo que dificultan el crecimiento de algas y plantas que no pueden realizar la fotosíntesis. Por otra parte también originan problemas para aquellos animales depredadores que utilizan fundamentalmente la visión para la caza. También la turbidez trae consigo un segundo peligro potencial y es el que esos sólidos puedan precipitar por cualquier razón pudiendo así producir la asfixia de flora y fauna béntica (huevos de Salmónidos, plecopteros, algunos tricopteros y Efemerópteros son especialmente sensibles).

Naturalmente la turbidez tambien va a variar mucho estacionalmente, principalmente cuando el río incrementa su descarga con lo que aumenta su fuerza de erosión y fundamentalmente cuando llueve ya que el lavado del suelo hace a los ríos especialmente turbios, aumentando tambien su poder de abrasión, siendo este hecho particular

mente peligroso para los seres que se nutren por filtración.

He utilizado dos métodos para determinar la turbidez, el más clásico es el de la determinación de los sólidos en suspensión, filtrando por filtro Whatman, desecando 24 h. en una estufa a 105° C y pesando posteriormente. El otro es un método espectrofotométrico basado en la propiedad de absorción y difusión de la luz por las partículas de materia presentes. La cantidad de turbidez registrada es función de muchas variables tales como  tamaño, forma e índice de refracción de las partículas presentes etc, y por tanto sólo es una medida estadística. En mi caso he utilizado el radio-turbidímetro del Model U-7 Horiba que tiene una franja para 0 - 400 ppm de sólidos en suspensión con un error aproximado de  $\pm 20$  ppm que nos da sólo una estimación empírica de ellos, y el turbidímetro "Hach" calibrado con soluciones standard de formazina y que mide en FTU (Formazin Turbidity Units). Debo reseñar que no he encontrado relación entre la turbidez de las muestras y el peso de la concentración de materia presente determinada por el test de los sólidos en suspensión.

- Conductividad.

Está relacionada con las concentraciones de sustancias ionizadas. Es una medida indirecta de la cantidad de sales disueltas en el agua, y por lo tanto nos puede informar indirectamente de la existencia de iones tales como  $K^+$ ,  $PO_4^-$ , y  $NO_3^-$  que son básicas para el crecimiento

de las plantas y por otro lado tambien nos sirve para detectar fenómenos de eutrofización. La conductividad, como es lógico, está relacionada con los mecanismos de osmoregulación de la fauna, de tal modo que fuertes incrementos en este parámetro, como pueden observarse tras ciertos vertidos de aguas residuales, pueden ser peligrosos, especialmente para las formas de vida superior. Tambien la conductividad sufre variaciones estacionales relacionadas con el caudal (cuanto menor caudal, más concentración de sales, aunque esto se trata de una simplificación).

La conductividad se ha determinado "in situ" con el Hach Conductivity Meter que tiene un rango de 0 a 20.000  $\mu\Omega/\text{cm}$  calibrado con una solución standard de cloruro sódico 1000 mg/l, que posee una conductividad de 1.990  $\mu\Omega/\text{cm}$ .

b) Parámetros químicos.

- Oxígeno disuelto.

El O.D. es uno de los factores limitantes del agua, pues a diferencia del aire, en el que pese a estar polucionada siempre sigue existiendo oxígeno, el agua polucionada puede estar total o parcialmente privada de dicho gas, impidiendo toda forma de vida acuática aerobia. Muchas formas de polución (orgánica, térmica, por detergentes, hidrocarburos o aceites etc.) tienen como blanco principal la limitación del O.D. en el agua, siendo esta limitación el principal factor que reduce la vida en el eco sistema. Por otra parte, salvo en los cursos altos de los

ríos en los que el oxígeno es "atrapado" de la atmósfera por turbulencia y los niveles son más o menos constantes, en los cursos medios y bajos, los niveles de O.D. están sometidos a una fuerte variación diaria como consecuencia de la relación fotosíntesis-respiración. Naturalmente también el oxígeno disuelto va a ser función de la temperatura y de la presión atmosférica; disminuyendo a medida que sube la primera y baja la segunda. El O.D. ha sido medido mediante el sensor Kahlsico que consta de un ánodo de plomo y una lámina de plata que actúa como cátodo cubierta de una membrana que permite el paso del oxígeno. Como electrolito se utiliza una disolución 1 N de KOH y con un galvanómetro se recogen las alteraciones eléctricas que produce el paso del O. El calibrado de este aparato se ha realizado con el clásico método Winkler que oxida el hidróxido manganoso, formándose oxihidrato manganoso castaño, que se disuelve por acidificación liberando iones mangánicos en presencia de un yoduro, valorándose el Iodo liberado con tiosulfato sódico, que es proporcional al O existente. (APHA Standard Methods 13th ed. 477 (1.971))

- pH.

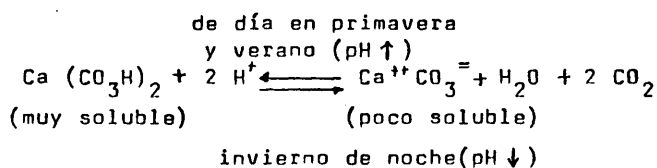
La mayoría de las aguas naturales tienen un pH que oscila entre 4 y 9, siendo generalmente básicas debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El pH nos va a servir para conocer algo sobre condiciones edáficas y aportes húmicos naturales, al mismo tiempo que nos permite detectar fuertes aportes ácidos o básicos proceden



tes de vertidos industriales. También el pH está sujeto a fuertes variaciones, no sólo estacionarias, sino incluso diarias, así durante el día por acción de la fotosíntesis disminuye el  $\text{CO}_2$  y precipita el  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , con lo que el pH sube y durante la noche ocurre lo contrario. El pH ha sido determinado in situ mediante papel indicador universal "Merck" y colorimétricamente con el "Wide Range pH" de la casa Hach que no se trata más que de una mezcla de indicadores de color pH dependiente que absorben a una  $\lambda = 520 \text{ nm}$ . o a  $\lambda = 615 \text{ nm}$ . si está fuera de escala. APHA Simplified Procedures for Water examination manual M-12, 52 (1.964)

- Dureza. (capacidad del agua para precipitar jabones)

Los iones de Calcio y Magnesio son los principales causantes de la dureza de las aguas, aunque Fe, Al, Mn, Sr y Zn sean capaces de ejercer también el mismo efecto. El Calcio es un metal básico para la constitución del esqueleto y del caparazón de los seres vivos, siendo además las aguas duras mucho más estables químicamente. Las aguas duras son alcalinas y su pH se mantiene si se añade cualquier ácido gracias al bicarbonato en solución (este bicarbonato se libera por lixiviación de las rocas de limos, yesos, cretas y margas o gredas)



Desde el punto de vista de la contaminación puede estar relacionada con la polución en la medida que la solubilidad del  $\text{Ca CO}_3$  aumenta en presencia de proteínas y de ácidos débiles resultantes de la oxidación de la materia orgánica ó inversamente, cuando los efectos tóxicos de ciertos constituyentes metálicos y micropolucionantes de síntesis, con atenuados en las aguas muy mineralizadas (Klein, 1.959). La fuerte mineralización de las aguas explica, en cierta medida, junto con el régimen de caudales la resistencia de ciertos ríos a poluciones crónicas sucesivas así como su fuerte productividad en peces.

La determinación de la dureza total se ha realizado por el método de titulación descrito en los Standard Methods de la APHA 13th ed. 179 (1.971) con el reactivo Manver II que está libre de las interferencias de Mn (10 mg/l) Cu (0,25 mg/l) Fe (30 mg/l) y con la solución standard Titraver N/50 EDTA, que forma complejos internos con el Ca y el Mg. Posteriormente en medio fuertemente alcalino, precipita el Mg en forma de  $(\text{HO})_2\text{Mg}$  y con un indicador de murexida que forma un color rojo se determina el Ca, que puede valorarse titulándole con complexona III. El Magnesio puede hallarse por la diferencia entre el Total (Ca+Mg) y el Calcio.

- Alcalinidad. (capacidad del agua para neutralizar ácidos)

Se debe a carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de Ca, Mg y Na. Variaciones altas en los niveles de alcalinidad

indican la presencia de vertidos industriales fuertemente alcalinos. Las variaciones de alcalinidad están cercanas al grado de mineralización (conductividad, riqueza en alcalino-térreos), al Ph y también al grado de oxidación de los compuestos orgánicos, sea a nivel de sectores contaminados por el hombre ó polución natural debida a materias húmicas.

El método empleado ha sido el descrito por la APHA en S. M. 13 ed. 52 (1.971) titulando con una solución standard de ácido sulfúrico N/50 utilizando como indicadores Fenofaleína para titular hidróxidos y carbonatos y Rojo de Metilo en solución alcohólica con verde de bromocresol para obtener la alcalinidad total (TAC) es decir también  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{=}$ ,  $\text{SiO}_3^{=}$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

- Cloruros.

Están presentes en las aguas y en principio no parecen como tales tener efectos tóxicos para la fauna, al menos para el hombre, aunque niveles demasiado altos corroen las cañerías metálicas y son peligrosos para algunos vegetales. En general, desde el punto de vista de la contaminación, sirven para dar una buena indicación del grado de eutrofización y su exceso es generalmente buen indicador de contaminación urbana.

El método utilizado es el argentométrico de Mohr descrito por la APHA en SP 13 ed. 96 (1.971) que utiliza cromato como indicador, titulándose la muestra con nitrato de plata 0,0141 N que precipita selectivamente primero el cloro y luego el cromato.

- Sulfatos.

Están presentes en el agua en una amplia gama de concentraciones, estando ligados a la naturaleza geológica del terreno, pero también a la presencia de efluentes urbanos (mineralización del S de los residuos) e industriales, que liberan  $H_2SO_4$ . Una vertida de sulfatos parece en sí inofensivo (salvo ciertas acciones laxantes) pero puede ser peligroso en aguas muy polucionadas, debido a que en medios anaerobios las bacterias (Desulfovibrios,) los transforman en  $H_2S$  que es tóxico y corrosivo.

El Método utilizado es el descrito por la APHA en S.M. 13 ed. 334 (1.971) basado en que los sulfatos con cloruros bóricos dan lugar a un precipitado blanco que puede ser determinado por turbidimetría a 450 nm. La casa Hach mezcla el cloruro bórico con un agente estabilizador (Sulfaver IV) que mantiene el precipitado formado en suspensión para el análisis turbidimétrico.

- Fosfatos.

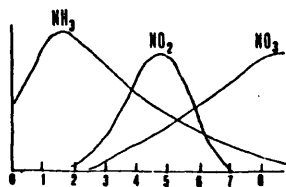
Los fosfatos en el sistema son debidos fundamentalmente a aportes agrícolas procedentes del lavado de suelos ó a vertidos urbanos, detergentes y efluentes industriales. Cierta cantidad de fosfatos es siempre necesaria para la vida acuática pero elevaciones significativas son las principales responsables de la eutrofización. El fósforo total presente en un río es la suma del existente en los fosfatos minerales y en los orgánicos. El fósforo soluble está constituido por los ortofosfatos y el fósforo orgánico. Estos niveles están sujetos a una fuer

te variación estacional, acumulándose los fosfatos al final del verano en el fondo (en general en las aguas más mineralizadas) y si las condiciones son aerobias se fijan al suelo. También pH altos favorecen la precipitación de los fosfatos. Si las condiciones fueran anaerobias los fosfatos (al igual que ocurre con los nitratos) son restituidos al agua; en efecto si aparecen sulfuros en el medio, los fosfatos pueden desprenderse del limo, hecho que ocurre en aguas muy mineralizadas, ricas en sulfatos cuando se anorta materia orgánica que es utilizada por los Desulfovibrio para transformar los sulfatos en  $H_2S$ .

El método seguido para determinar fosfatos (orto  $PO_4^{3-}$ ) está descrito por la APHA en el S.M. 13 ed. 532 (1.971) y está basado en la modificación del método del "azul de Molibdeno" utilizando molibdato amónico, que con los ortofosfatos genera un complejo de fosfomolibdato amarillo que es reducido con ácido cítrico, dando una coloración debida al azul de Molibdeno que se mide en el espectrofotómetro a  $\lambda = 700 \text{ nm}$ .

- Compuestos de nitrógeno.

La forma en que encontramos a los compuestos de nitrógeno presentes en el sistema dependen de la cantidad de O.O. presente. En el caso de polución orgánica tenemos una sucesión río abajo de compuestos nitrogenados que siguen a "grosso modo" el esquema de Gartsch e Ingram (1.967)



#### a) Nitratos

Los nitratos representan el mayor estado de oxidación del Nitrógeno en el agua, de tal forma que fuertes concentraciones de estos compuestos pueden indicar residuos biológicos en las últimas etapas de estabilización de campos fuertemente abonados. Los efluentes ricos en nitratos que descargan en las aguas degradan la calidad induciendo eutrofización. (A los nitratos les ocurre lo que a los fosfatos y es que en condiciones naturales no existen más que en cantidades escasas en las aguas, jugando muchas veces el papel de factor limitante, lo que hace que normalmente los organismos acuáticos (fundamentalmente los vegetales) reaccionen vivamente a este enriquecimiento dando lugar a una gran proliferación (eutrofización). A nivel de la fauna uno de los principales peligros es la formación de metahemoglobina (metahemoglobinemia) que hace a la hemoglobina incapaz de fijar el  $O_2$ .

#### b) Nitritos.

Están presentes en concentraciones altas en aguas muy polucionadas, en las cuales no pueden operar las nitrobacter siendo su presencia permanente, indicación de materia orgánica. También en condiciones anaerobias por a-

cción de las bacterias desnitrificantes los nitratos pueden reducirse a nitritos. La existencia de nitritos además al exigir una demanda inmediata de oxígeno desflgura el típico análisis de materia orgánica basada en el valor permanganato (poder reductor).

c) Amoniaco.

En principio sólo existe en las aguas ricas en materia orgánica cuando el O.D. es insuficiente para asegurar su transformación ó cuando las bacterias encargadas de los procesos de desnitrificación llevan estos hasta su último término. Por ser un fuerte tóxico su presencia resulta nociva para los seres vivos.

Para determinar los compuestos de nitrógeno recorro a los siguientes análisis:

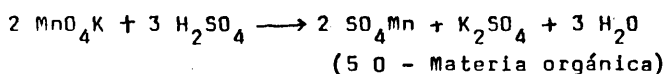
El método para la determinación de nitratos está basado en un método de reducción del cadmio utilizando ácido sulfanílico 1-naftilamina que con los nitratos da una solución color ámbar que absorbe a  $\lambda = 500$  nm. (Water analysis- Handbook- Hach chemical company 1.974). El método de determinación de nitritos es similar (por lo que en el anterior para evitar la interferencia por nitritos se añade agua de bromo y gota a gota solución de fenol al 3%) utilizándose una reacción de diazotización que forma un color rosa que absorbe a  $\lambda = 500$  nm. Para el nitrógeno amoniacal utilizo el método Nessler descrito por la ApHA en SP 13 ed. 226 (1.971), en el cual se forma un complejo 
$$\begin{array}{c} \text{Hg} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 - \text{I} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{Hg} \end{array}$$
 de color amarillo intenso que absorbe a  $\lambda = 425$  nm.

### Materia orgánica.

La materia orgánica autóctona es la principal fuente de energía en las aguas corrientes, sin embargo un exceso de materia orgánica es perjudicial para la vida acuática superior, al favorecer a los microorganismos y por lo tanto al reducir drásticamente los niveles de O.D.

### Valor permanganato.

La materia orgánica se ha medido clásicamente por el llamado valor  $\text{MnO}_4^-$  o determinación del poder reductor; este método corresponde a la estimación global de la concentración en materias orgánicas, todas reductoras, mediante la evaluación de la cantidad de oxígeno que secuestra el permanganato en condiciones precisas.



Pese a realizar este método, sus resultados los he valorado sólo como una indicación empírica útil para estimar la dilución requerida para la DBO, ya que la oxidación de la materia orgánica en este método está lejos de ser completa y las medidas resultan bastante arbitrarias, especialmente si en el agua existen sustancias que puedan ser oxidadas fácilmente ( $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ).

### - Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O<sub>5</sub>)

Pese a ser el test más importante utilizado con relación a la contaminación de tipo orgánico sólo constituye una aproximación proporcional a la cantidad de materia biodegradable y a la cantidad de microorganismos que puedan



degradarla. Mide el oxígeno disuelto consumido por las bacterias aerobias para asegurar la descomposición a 20° C, sin luz y durante 5 días. Hasta 5 ó 6 mg/ l, los valores obtenidos, siempre que no existan agentes bactericidas en el vertido (casi todos los vertidos industriales tienen agentes bactericidas) pueden ser significativos con un error de  $\pm 1$  mg/ l, pero a medida que se necesitan diluciones mayores pierde seguridad. También es necesario para su fiabilidad aparte de una buena dilución, neutralizar el pH, destruir los organismos nitrificantes, precipitar los cuerpos tóxicos y tener en cuenta la Demanda química inmediata originada por los cuerpos orgánicos reductores.

El método es el descrito por la APHA en SM 13 ed. 489 (1.971) y está basado en determinar la variación de O.D. en una muestra, a diferentes diluciones, incubada durante 5 días a 20° C.

#### Fluoruros.

Existen habitualmente en el agua y a concentraciones de 1 mg/ L, son beneficiosos para prevenir la caries dental Sin embargo niveles altos son dañinos para cierta parte de la fauna al generar fluorosis.

El método de determinación de fluoruros es descrito por la APHA en SM 13 ed. 174 (1.971) y está basado en la reacción que da el F con el circonio (Reactivo SPADNS) dando un complejo circonio-fluoruro que absorbe a

$$\lambda = 580 \text{ nm.}$$

- Sílice.

Pese a que no se le conocen efectos tóxicos, la he determinado por ver si se correlacionaban niveles de sílice con número de diatomeas. El método utilizado es el descrito por la APHA en SM 13 ed. 306 (1.971) y está basado en la reacción del molibdato amónico con sílice y fosfatos para dar un complejo amarillo de ácido fosfomolibdico y sílicomolibdico, siendo posteriormente destruido el primero con ácido oxálico pudiéndose leer directamente a 700 nm., si la concentración de sílice es alta, y si es baja es necesario añadir un agente reductor de aminoácidos que pasa el color amarillo a azul oscuro que también se lee a 700 nm.

Cu, Fe y Cromo también han sido determinados ocasionalmente en varias estaciones mediante el método del Cuprethol y el de la 1,10 Phenantrolina y del 1,5 Diphenilcarbohidrazida, pero los bajos niveles encontrados (menores de 0,1 mg/ L) y la falta de medios técnicos más precisos me hacen no incluirlos.

Con relación a otros parámetros químicos, en concreto DDT, Aldrin, Dieldrin, PCB y Pb por falta de medios precisos no he podido determinarlos, correspondiendo esta tarea a la Escuela Nacional de Sanidad, por lo que al no ser mi trabajo no los incluyo en esta parte de la tesis, limitándome posteriormente sólo a su impacto en la biología del Sistema.

- Sodio y Potasio.

La determinación de Na se estima por la diferencia entre

los cationes y aniones totales obtenidos en los análisis anteriores. Se determinan bicarbonatos y carbonatos (alcalinidad), cloruros y sulfatos, convirtiendo sus concentraciones en miliequivalentes/ litro (dividiendo por el peso molecular) y se obtiene su suma; se hace lo mismo para calcio y magnesio y se restan aniones de cationes.

$(\text{meq/l CO}_3\text{H}^- + \text{meq/l CO}_3^{=} + \text{meq/l Cl}^- + \text{meq/l SO}_4^-) -$   
 $(\text{meq/l Ca}^{++} + \text{meq/l Mg}^{++})$  y el resultado se multiplica por 23 para obtenerlo en mg/l de Na.

El método de determinar potasio se basa en que éste es capaz de precipitar a perclorato eliminados los aniones y cationes que interfieren esta precipitación y se extrae el perclorato sódico con alcohol de 96%, pesándose posteriormente el perclorato potásico.

En el método que hemos seguido por comodidad lo que hemos hecho ha sido valorar Na + K juntos, para lo cual hemos utilizado el método de determinación de Potasio, pero luego no hemos hecho la extracción del perclorato sódico, correspondiendo entonces el peso obtenido tras desecar a 130° a la suma de los dos valores.

#### 4. Expresión de los Resultados.

Dada la gran variación a que están sometidos los parámetros físico-químicos del Sistema y su poca significación puntual, voy a agrupar los valores medios de cada estación en las 4 tablas adjuntas, incorporando posteriormente un perfil físico-químico que ayude a visualizar que

es lo que acontece conjuntamente con estos parámetros a lo largo del río.

En las tablas no incluyo los resultados de cationes, pero estos son en cierta forma redundantes con la dureza, de todas formas diré que con relación al  $\text{Ca}^{++}$  el Sorbe presenta en la primera estación una media de 30 ppm, que decae bruscamente hasta la 2ª estación, recobrándose de nuevo hasta su desembocadura a partir de Muriel; de todas formas los valores máximos que alcanza no son muy altos (40 ppm). En la Alarilla y por efecto del Henares suben estos valores (44 ppm) y ya no hacen sino subir (Chiloeches 87 mg/l Gerafín 99 mg/l) Con relación al  $\text{Mg}^{++}$  el río Sorbe en principio tiene muy poco Mg (3 mg/l en Galve, 0,1 en Pozo los Ramos, 5 en Muriel, 10 en la desembocadura) y será el Henares también el que aporte el Mg al Sistema, subiendo continuamente y dando 2 picos en Chiloeches 36, y Gerafín 49. Con relación al  $\text{Na} + \text{K}$  ocurre algo similar, el Sorbe está casi desprovisto de ellos y sólo cerca de su desembocadura comienzan a encontrarse en cantidades mínimas (de 2 a 10 ppm), siendo el Henares el que aporta estos cationes (36 ppm en la Alarilla) y presentándose los dos picos clásicos en Chiloeches 87 ppm y en el Gerafín 103 ppm.

También incluyo en primer lugar una tabla donde puede apreciarse la variación diaria de O.D. y Temperatura.

En este perfil sólo incluyo 18 parámetros, excluyendo algunos por estar en cierta medida relacionados entre sí (p. ej. alcalinidad y dureza) consciente que con uno de ellos es suficiente, y otros como la temperatura o la

energía radiante que merecen tratamiento aparte.

Al ser el perfil de verano, he incluido un apartado para discutir estas variaciones, su relación con el impacto contaminante y hacer así mas asequible su posterior significado biológico.

CONDUCTIVIDADES    MURIEL    ALARILLA    CHILOECHES    ESPINILLOS

$\mu\Omega/\text{cm}$     cte 48    cte 870    1.150  $\pm 100$     1.300  $\pm 100$

| HORA    |    | O <sub>2</sub> | T  | O <sub>2</sub> | T  | O <sub>2</sub> | T  | O <sub>2</sub> | T  |
|---------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|
| 2.11.78 | 00 | 10,5           | 12 | 5              | 14 | 3              | 12 | 1,5            | 14 |
|         | 04 | 11             | 12 | 4              | 13 | 3              | 12 | 1              | 14 |
|         | 08 | 10,5           | 12 | 3              | 13 | 2,5            | 12 | 1              | 13 |
|         | 12 | 10,5           | 13 | 7,5            | 14 | 5              | 13 | 3,5            | 15 |
|         | 16 | 11             | 13 | 7,5            | 15 | 5,5            | 14 | 3,5            | 16 |
|         | 20 | 10,5           | 13 | 7              | 14 | 4              | 13 | 3,             | 15 |
| 3.11.78 | 00 | 11             | 12 | 5,5            | 13 | 3              | 12 | 2              | 13 |
|         | 04 | 10,5           | 12 | 4              | 12 | 3              | 12 | 1              | 13 |
|         | 08 | 10,5           | 12 | 3,5            | 12 | 3              | 12 | 1              | 12 |
|         | 12 | 11             | 12 | 8              | 14 | 5,5            | 14 | 3              | 15 |
|         | 16 | 11             | 13 | 8              | 15 | 5,5            | 14 | 3,5            | 16 |
|         | 20 | 10,5           | 12 | 7              | 14 | 5              | 13 | 2,5            | 14 |

VARIACION DIARIA DEL O.D. Y LA TEMPERATURA.

9265

|                  | 1     | 2     | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|-------|-------|------|------|------|------|
| Conductividad    | 250   | 40    | 53   | 100  | 320  | 600  |
| Nitratos         | 4,4   | 2,2   | 3,1  | 2,2  | 4,4  | 3,5  |
| Nitritos         | 0,01  | 0,02  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Amonio           | 0,05  | 0,06  | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,08 |
| Sulfatos         | 15    | 0     | 7,5  | 14   | 50   | 110  |
| Sol. suspensión  | 39    | 15    | 59   | 108  | 391  | 403  |
| DBO <sub>5</sub> | 2,1   | 1,2   | 1,5  | 4,2  | 4,6  | 5,7  |
| Dureza           | 250   | 30    | 40   | 270  | 330  | 350  |
| Alcalinidad      | 124   | 18    | 41   | 43   | 65   | 108  |
| pH               | 7     | 5     | 5    | 5,5  | 6    | 6,5  |
| Temperatura      | 4     | 6     | 6,5  | 7    | 7    | 8    |
| Oxígeno disuelto | 9,8   | 9,5   | 9    | 8    | 8    | 7,5  |
| Ortofosfatos     | 1     | 0,125 | 0,9  | 1,75 | 0,75 | 0,3  |
| Cloruros         | 30    | 4     | 11,4 | 38,9 | 63   | 73   |
| Fluoruros        | 0     | 0     | 0,01 | 0,10 | 0,09 | 0,11 |
| Bicarbonatos     | 122   | 23    | 49   | 121  | 190  | 196  |
| Carbonatos       | 23    | 0     | 8    | 50   | 0    | 0    |
| Sílice           | 12    | 4     | 10   | 14   | 19   | 28   |
| Hierro           | ----- |       |      |      |      | 0,1  |

## INVIERNO.-

| 7    | 8     | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |          |
|------|-------|------|------|------|------|------|----------|
| 750  | 758   | 670  | 702  | 806  | 805  | 828  | /cm      |
| 2,2  | 2,7   | 4,4  | 1,8  | 6,4  | 6,2  | 5,9  | mg/L     |
| 0,06 | 0,05  | 0,04 | 0,02 | 0,17 | 0,09 | 0,10 | mg/L     |
| 0,12 | 0,05  | 0,04 | 0,01 | 0,29 | 0,34 | 0,26 | mg/L     |
| 320  | 225   | 240  | 126  | 55   | 204  | 180  | mg/L     |
| 479  | 411   | 360  | 287  | 556  | 582  | 520  | mg/L     |
| 11,8 | 10,6  | 7    | 6,6  | 10,2 | 20,1 | 18,9 | ppm      |
| 360  | 450   | 500  | 420  | 501  | 492  | 473  | mg/L     |
| 146  | 243   | 258  | 156  | 257  | 254  | 252  | mg/L     |
| 6,5  | 6,8   | 6    | 6    | 6,5  | 7    | 6,5  | unidades |
| 7    | 8     | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | ° C      |
| 3,5  | 4     | 6,5  | 6,5  | 4,1  | 0,3  | 1,6  | ppm      |
| 0,2  | 0,16  | 1,85 | 1,1  | 0,5  | 2,4  | 1,9  | mg/L     |
| 94   | 99    | 76   | 41   | 107  | 192  | 110  | ppm      |
| 0,16 | 0,22  | 0,20 | 0,18 | 0,21 | 0,31 | 0,29 | mg/L     |
| 207  | 203   | 184  | 186  | 199  | 217  | 168  | ppm      |
| 41   | 0     | 0    | 0    | 37   | 64   | 0    | ppm      |
| 35   | 26    | 24   | 22   | 27   | 36   | 26   | mg/L     |
| mg/L | ----- |      |      |      |      |      |          |



94611

|                  | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|
| Conductividad    | 278 | 49   | 60   | 465  | 599  | 860  |
| Nitratos         | 2,1 | 1,1  | 3,54 | 2    | 4,1  | 3,2  |
| Nitritos         | 0   | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Amonio           | 0,9 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Sulfatos         | 7   | 2,5  | 44,5 | 50   | 64   | 68   |
| Sol. suspensión  | 49  | 20   | 66   | 123  | 408  | 420  |
| DBO <sub>5</sub> | 2,9 | 1,8  | 3,6  | 4,2  | 4,8  | 4,9  |
| Dureza           | 240 | 28   | 37   | 264  | 329  | 343  |
| Alcalinidad      | 121 | 12   | 46   | 111  | 136  | 141  |
| pH               | 7,5 | 6,5  | 7    | 7,5  | 7,5  | 7,5  |
| Temperatura      | 7,5 | 8,5  | 10   | 10,5 | 10,5 | 11,5 |
| Oxígeno disuelto | 9,8 | 9,5  | 9    | 8    | 8    | 7,5  |
| Ortofosfatos     | 0,4 | 0,09 | 0,16 | 0,22 | 0,33 | 0,68 |
| Cloruros         | 29  | 4,5  | 11,6 | 36,4 | 62   | 77   |
| Fluoruros        | 0   | 0    | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,19 |
| Bicarbonatos     | 159 | 19   | 45   | 114  | 181  | 207  |
| Carbonatos       | 21  | 0    | 7    | 12   | 0    | 0    |
| Sílice           | 25  | 2    | 11   | 16   | 22   | 34   |
| Hierro           | 0,1 | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |

## PRIMAVERA.-

| 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |                       |
|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| 902  | 936  | 820  | 876  | 801  | 801  | 853  | $\mu\Omega/\text{cm}$ |
| 2,4  | 2,6  | 4,1  | 1,8  | 6    | 6,1  | 5,8  | mg/L                  |
| 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,12 | 0,09 | 0,08 | mg/L                  |
| 0,08 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,18 | 0,28 | 0,24 | mg/L                  |
| 146  | 114  | 83   | 80   | 99   | 180  | 102  | mg/L                  |
| 510  | 423  | 408  | 303  | 600  | 609  | 580  | mg/L                  |
| 11,6 | 10,3 | 6,8  | 6,4  | 9,9  | 18,2 | 16,1 | ppm                   |
| 499  | 514  | 520  | 483  | 528  | 519  | 501  | mg/L                  |
| 256  | 258  | 261  | 253  | 259  | 262  | 257  | mg/L                  |
| 8,2  | 8,5  | 7,2  | 7,5  | 8    | 8,2  | 8,1  | unidades              |
| 11,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | g C                   |
| 3,2  | 3,8  | 6,5  | 6,5  | 4,2  | 0,3  | 1,6  | ppm                   |
| 0,58 | 0,52 | 1,8  | 1,2  | 0,6  | 2,3  | 1,8  | mg/L                  |
| 91   | 98   | 72   | 37   | 101  | 180  | 90   | ppm                   |
| 0,30 | 0,4  | 0,31 | 0,29 | 0,32 | 0,44 | 0,36 | mg/L                  |
| 214  | 216  | 194  | 186  | 220  | 250  | 183  | ppm                   |
| 64   | 0    | 0    | 0    | 52   | 77   | 0    | ppm                   |
| 28   | 19   | 14   | 10   | 12   | 29   | 36   | mg/L                  |
| 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | mg/L                  |

956v

|                  | 1    | 2    | 3     | 4    | 5    | 6     |
|------------------|------|------|-------|------|------|-------|
| Conductividad    | 475  | 80   | 84    | 480  | 870  | 983   |
| Nitratos         | 0,2  | 0,1  | 2     | 3,08 | 3,08 | 8,8   |
| Nitritos         | 0    | 0,01 | 0,03  | 0,01 | 0,02 | 0,02  |
| Amonio           | 0,06 | 0    | 0,01  | 0,02 | 0,01 | 0,02  |
| Sulfatos         | 2    | 0    | 12    | 22   | 31   | 62    |
| Sol. suspensión  | 4    | 10   | 42    | 69   | 74   | 86    |
| DBO <sub>5</sub> | 2,3  | 0,9  | 1,42  | 4,4  | 4,9  | 5,87  |
| Dureza           | 220  | 30   | 30    | 290  | 370  | 370   |
| Alcalinidad      | 119  | 15   | 40    | 120  | 140  | 145   |
| pH               | 8,5  | 7    | 7,5   | 8,5  | 8,5  | 8,5   |
| Temperatura      | 16   | 16   | 17    | 18   | 18   | 20    |
| Oxígeno disuelto | 9,8  | 9,5  | 9     | 8    | 8    | 7     |
| Ortofosfatos     | 0,8  | 0,01 | 0,037 | 0,18 | 0,25 | 0,365 |
| Cloruros         | 30   | 5    | 11,8  | 40,3 | 66   | 78    |
| Fluoruros        | 0    | 0    | 0,12  | 0,11 | 0,14 | 0,13  |
| Bicarbonatos     | 163  | 24   | 50    | 121  | 186  | 212   |
| Carbonatos       | 19   | 0    | 0     | 13   | 0    | 0     |
| Sílice           | 2    | 16   | 3     | 9    | 12   | 12    |
| Hierro           | 0,1  | 0,1  | 0,1   | 0,1  | 0,1  | 0,1   |

## VERANO.-

| 7    | 8     | 9     | 10   | 11    | 12   | 13   |                       |
|------|-------|-------|------|-------|------|------|-----------------------|
| 1100 | 1180  | 1100  | 1200 | 1250  | 1250 | 1300 | $\mu\Omega/\text{cm}$ |
| 7,48 | 2,42, | 3,9   | 6,6  | 8,6   | 8,8  | 6,72 | mg/L                  |
| 0,03 | 0,06  | 0,058 | 0,03 | 0,10  | 0,13 | 0,06 | mg/L                  |
| 0,06 | 0,04  | 0,03  | 0,01 | 0,113 | 0,21 | 0,19 | mg/L                  |
| 151  | 150   | 90    | 95   | 108   | 210  | 180  | mg/L                  |
| 450  | 320   | 210   | 105  | 499   | 496  | 436  | mg/L                  |
| 16,3 | 12,8  | 9,8   | 8,7  | 11,3  | 32,1 | 26,8 | ppm                   |
| 470  | 530   | 540   | 490  | 586   | 540  | 420  | mg/L                  |
| 250  | 260   | 270   | 253  | 288   | 269  | 196  | mg/L                  |
| 8,7  | 8,8   | 7,6   | 8,1  | 7,9   | 8,8  | 8,8  | unidades              |
| 22   | 22    | 24    | 23   | 23    | 23   | 23   | g C                   |
| 2,8  | 3     | 6     | 6    | 4     | 0    | 1    | ppm                   |
| 0,75 | 0,67  | 1,8   | 2,3  | 6,1   | 6,7  | 5,7  | mg/L                  |
| 94   | 99    | 76    | 47   | 115   | 192  | 100  | ppm                   |
| 0,26 | 0,31  | 0,22  | 0,20 | 0,26  | 0,40 | 0,32 | mg/L                  |
| 221  | 223   | 199   | 193  | 227   | 280  | 194  | ppm                   |
| 81   | 0     | 0     | 0    | 63    | 84   | 0    | ppm                   |
| 19   | 14    | 12    | 13   | 16    | 22   | 12   | mg/L                  |
| 0,1  | 0,1   | 0,1   | 0,1  | 0,1   | 0,1  | 0,1  | mg/L                  |

9661

|                  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| Conductividad    | 312  | 65   | 71   | 469  | 603  | 848  |
| Nitratos         | 3,6  | 2,2  | 5    | 5,3  | 6,4  | 16   |
| Nitritos         | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Amonio           | 0,03 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,06 |
| Sulfatos         | 6    | 1,5  | 12   | 28   | 40   | 71   |
| Sol. suspensión  | 43   | 16   | 62   | 114  | 400  | 411  |
| DBO <sub>5</sub> | 4,2  | 3,1  | 4,3  | 5,8  | 6,2  | 6,3  |
| Dureza           | 230  | 30   | 35   | 283  | 351  | 360  |
| Alcalinidad      | 120  | 22   | 44   | 119  | 143  | 149  |
| pH               | 7,5  | 7    | 7,5  | 8,2  | 8,2  | 8,3  |
| Temperatura      | 9    | 11   | 11   | 12   | 12   | 12   |
| Oxígeno disuelto | 9,9  | 9,5  | 9    | 8    | 8    | 7,5  |
| Ortofosfatos     | 0,4  | 0,09 | 0,18 | 0,25 | 0,39 | 0,7  |
| Cloruros         | 31   | 5    | 11,4 | 40,3 | 71   | 81   |
| Fluoruros        | 0    | 0    | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,18 |
| Bicarbonatos     | 161  | 22   | 48   | 119  | 182  | 209  |
| Carbonatos       | 21   | 0    | 10   | 24   | 0    | 0    |
| Sílice           | 22   | 4    | 12   | 17   | 21   | 32   |
| Hierro           | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |

## OTOÑO--

| 7    | 8    | 9    | 10   | 11    | 12   | 13   |          |
|------|------|------|------|-------|------|------|----------|
| 924  | 931  | 913  | 921  | 820   | 814  | 860  | /cm      |
| 18   | 24   | 9    | 9,1  | 9,6   | 12,8 | 8,6  | mg/L     |
| 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,102 | 0,02 | 0,06 | mg/L     |
| 0,09 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,26  | 0,30 | 0,28 | mg/L     |
| 160  | 120  | 80   | 86   | 102   | 199  | 160  | mg/L     |
| 493  | 420  | 389  | 216  | 573   | 587  | 514  | mg/L     |
| 13,4 | 11,2 | 7,7  | 7,1  | 10,8  | 23,3 | 22,6 | ppm      |
| 510  | 530  | 540  | 500  | 550   | 520  | 400  | mg/L     |
| 259  | 263  | 268  | 257  | 274   | 261  | 152  | mg/L     |
| 8,5  | 8,7  | 7,5  | 7,5  | 8     | 8,5  | 8,5  | unidades |
| 13   | 13   | 14   | 14   | 14    | 14   | 14   | g C      |
| 3,2  | 3,6  | 6,5  | 6,5  | 4,1   | 0,2  | 1,5  | ppm      |
| 2,1  | 1,6  | 1,9  | 2,6  | 6,2   | 6,8  | 5,8  | mg/L     |
| 98   | 103  | 77   | 53   | 120   | 204  | 153  | ppm      |
| 0,24 | 0,33 | 0,41 | 0,30 | 0,26  | 0,4  | 0,37 | mg/L     |
| 216  | 218  | 197  | 191  | 222   | 263  | 187  | ppm      |
| 66   | 0    | 0    | 0    | 54    | 79   | 0    | ppm      |
| 24   | 20   | 17   | 14   | 25    | 26   | 18   | mg/L     |
| 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1   | 0,1  | 0,1  | mg/L     |

← SORBE → HENARES →

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

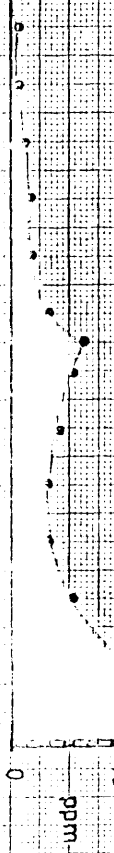
• CONDUCTIVIDAD



• CLORUROS



• DBO5



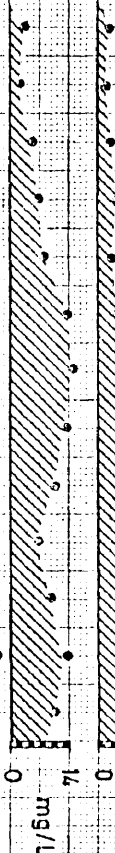
• O.D.  
(valores al alba)



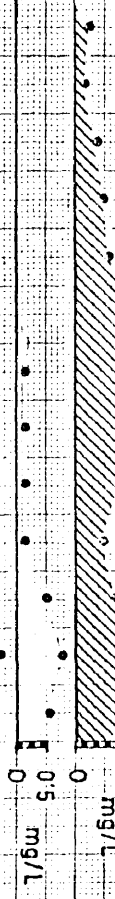
• PO4=



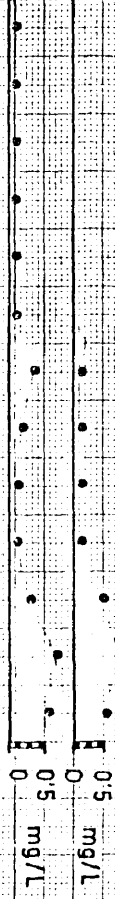
• NO3-



• NO2

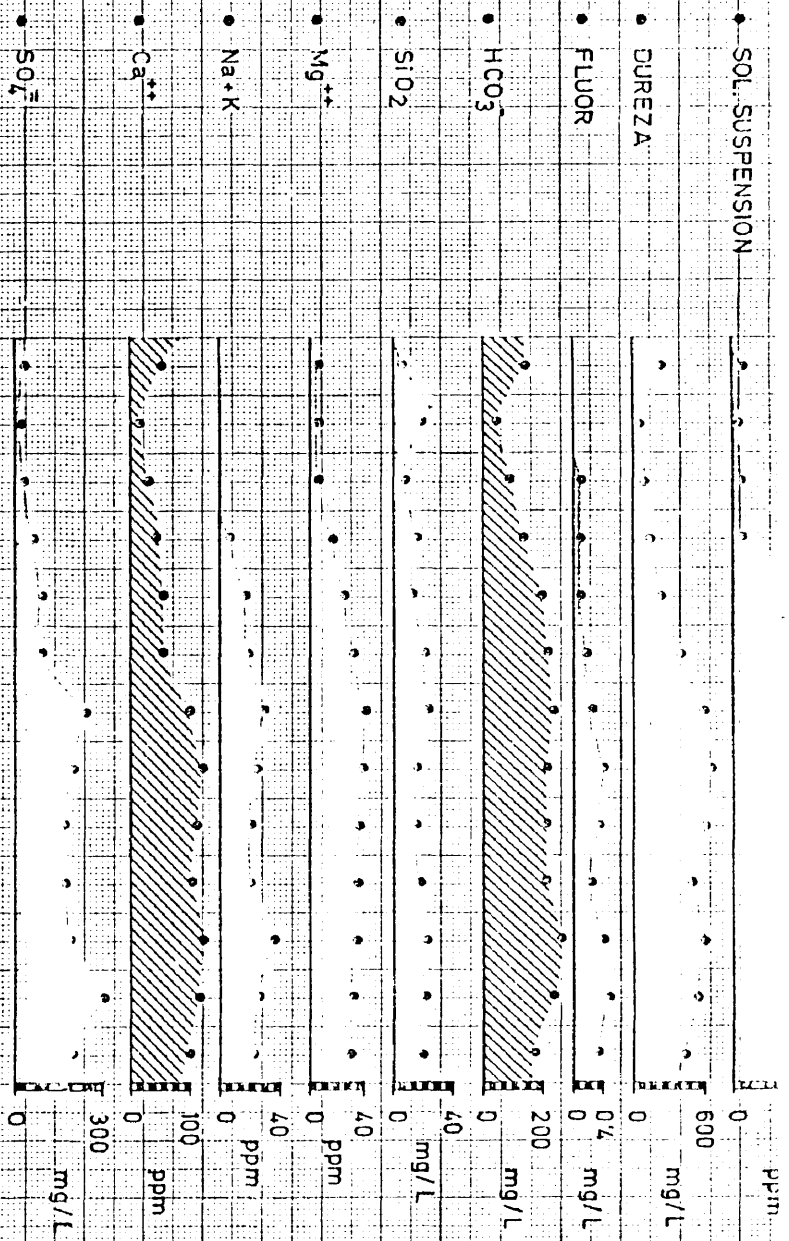


• NH4+



ppm

# PERFIL FISICO-QUIMICO DEL SISTEMA SORBE-HENARES





CONCENTRACION DE PESTICIDAS ORGANOCORADOS EN EL AGUA DEL SISTEMA SORRE-IEVARES

| Pesticida          | Lindano |           | pp'DDE |           | op'DDT |           | pp'DDT |           | Aldrin |       | Dieldrin |       |
|--------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-------|----------|-------|
|                    | X       | RANGO     | X      | RANGO     | X      | RANGO     | X      | RANGO     | X      | RANGO | X        | RANGO |
| E <sub>1</sub> n°3 | ,015    | ,012-,018 | ,009   | ,004-,014 | ,026   | ,016-,028 | ,042   | ,020-,063 | ND     |       | ND       |       |
| E <sub>2</sub> n°6 | ,042    | ,020-,072 | ,009   | ,004-,014 | ,019   | ,018-,043 | ,051   | ,022-,080 | ND     |       | ND       |       |
| E <sub>3</sub> n°7 | ,045    | ,030-,056 | ,013   | ,008-,023 | ,033   | ,018-,067 | ,070   | ,035-,113 | ND     |       | ND       |       |
| E <sub>4</sub> n°9 | ,040    | ,027-,071 | ,020   | ,009-,040 | ,079   | ,085-,108 | ,130   | ,066-,250 | ND     |       | ND       |       |

Los remanidos estan expresados en microgramos por litro

Cuadro 1

CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN EL AGUA DEL SISTEMA SORBE-HENARE:

| METAL.            | Cd    |       | Cr    |       | Cu    |       | Ni    |        | Pb     |        | Zn  |         |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|---------|
|                   | ̄     | RANGO | ̄     | RANGO | ̄     | RANGO | ̄     | RANGO  | ̄      | RANGO  | ̄   | RANGO   |
| E <sub>3</sub> W3 | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 20    | 20-40  | 50     | 50     | 90  | 30-150  |
| E <sub>3</sub> W6 | 10-20 | 10-20 | 10    | 10-20 | 10    | 10-20 | 60    | 40-100 | 50-100 | 50-250 | 100 | 110-230 |
| E <sub>3</sub> W7 | 10-20 | 10-20 | 20-30 | 10-30 | 10-20 | 10-20 | 60    | 20-100 | 50-50  | 50-150 | 190 | 110-210 |
| E <sub>3</sub> W7 | 10-20 | 10-20 | 10-20 | 10-20 | 20-30 | 10-30 | 40-60 | 40-100 | 50     | 50-150 | 200 | 140-200 |
| LIMITE<br>DETEC.  | 10    |       | 10    |       | 10    |       | 20    |        | 50     |        | 10  |         |

Todas las concentraciones vienen expresadas en microgramos por litro.  
(nanogramos por mililitro.)

Cuadro 2

## 5. Discusión de los resultados físico-químicos.

### A) Río Sorbe.

El estudio de los parámetros físico-químicos del río Sorbe está acorde con la naturaleza geológica que constituye su matriz, con lo que podemos afirmar que son sus litofacies, (en general muy poco solubles), quienes en verdad gobiernan la composición química de las aguas. Desgranando este estudio en relación con nuestras estaciones, podemos decir que los resultados encontrados en Galve de Sorbe reflejan bien la composición de las calizas cretácicas, constituyendo un crenon atípico (por lo menos con relación al modelo general) en cuanto que no es estenhialino. La conductividad en esta estación varía entre los 250 y los 475  $\mu\Omega/\text{cm}$ , y son particularmente altos los niveles de  $\text{HCO}_3^-$  ( $\approx 150 \text{ mg/l}$ ) y los de los parámetros relacionados con ellos.

Con relación a los  $\text{SO}_4^{=}$  que pudieran drenar las arenas albenses, no encontramos valores especialmente altos, (7-15 mg/l), aunque sí notamos su influencia sobre todo si los comparamos con estaciones situadas aguas abajo. Las variaciones estacionales en cuanto a los parámetros físico-químicos no son muy acusadas, salvo si exceptuamos las variaciones en temperatura (de 49 C a 169 C). Al ser utilizada la zona como pastizal para el ganado vacuno, genera el que puedan encontrarse, cuando los suelos son lavados, algunos nitratos (hasta 4,4 mg/l) y algunos fosfatos (hasta 1 mg/l). Todo ello contribuye a que junto al río y pese a la altitud, puedan encontrarse infectantes

acuáticos (ej. Typha) y en la corriente puedan medrar los berros (Nasturtium officinalis), lo cual posibilita el que el río, dependiendo de la estación, transporte abundante materia orgánica.

A medida que descendemos aguas abajo, el río se adentra en terrenos paleógenos Cambro-Silurianos formados por pizarras y grauvaças metamórficas y cuarcitas, estas litofacies, además de muy duras, lo que no permiten una gran acción erosiva, no drenan sales, ocurriendo el fenómeno según el cual, los afluentes de la cara Noroeste (Hoz, Lillas y Sonsez) que tienen su nacimiento y recorrido en este tipo de terrenos, van diluyendo poco a poco las aguas calizas de cabecera del Sorbe, explicándose así la pérdida de conductividad y dureza,  $\text{HCO}_3^-$  y Calcio que se observan hasta la estación del embalse de Pozo los Ramos. Aparte de la bajada de pH explicable en parte por estas causas, la desforestación de cabecera de estos afluentes, la escasa cubierta vegetal, la estrechez de la cuenca y el fuerte valor de las pendientes de las laderas generan una escorrentía muy elevada, produciéndose estacionalmente (en función de las precipitaciones, que en estas zonas tienen su máximo) fuertes arrastres húmicos, que llevan el pH hasta 5 y generan importantes aumentos en la cantidad de materia orgánica transportada por el río. En la estación nº 2, al ser un embalse, se produce una sedimentación de la materia en suspensión que el río lleva. Este embalse va a regular desde aquí el caudal del Sorbe, al mismo tiempo que le "roba" agua para dársela al Jarama.

Aguas abajo, tras atravesar pizarras silúricas, el Sorbe atraviesa una franja de Secundario Cretáceo Superior y ya en Muriel comienza a variar un poco su composición química (ligeros aumentos en conductividad, nitratos, sulfatos, alcalinidad, dureza, cloruros, ortofosfatos,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{++}$ ). En sus orillas se extiende una áliseda que permite una vegetación nitrófila, por lo que también los aportes vegetales de materia orgánica alóctona al río pueden ser importantes estacionalmente.

A partir de Muriel, el río se adentra en una cubeta terciaria de materiales oligocénicos fácilmente solubles y ricos en sales (yesos, margas, calizas y arcillas) con lo cual el río puede comenzar a cargarse de sales, siendo las margas especialmente ricas en  $\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  y  $\text{CO}_3^{--}$ , con lo cual encontramos al llegar al "colchón", un aumento de la concentración de sales disueltas (traducida en una elevación significativa de la conductividad), un aumento de la dureza, alcalinidad y pH, sulfatos,  $\text{HCO}_3^-$ , Mg y cloruros, y sílice (aportada por las arcillas). Por otra parte, al disminuir la consistencia del terreno, las lluvias pueden aportar más limos y transportarse más materia orgánica en suspensión. La subida experimentada en nitratos y ortofosfatos puede explicarse por la existencia de un lavadero en el mismo colchón y además que es un lugar típico donde abreva y naturalmente defeca el ganado lanar.

Como colofón con relación al Sorbe, podemos decir que es un río de aguas dulces sin contaminar, salvo los fuertes aportes húmicos que coinciden con las lluvias, y que en

general es bastante estable físico-químicamente salvo en el último tramo (Beleña-Humanes). Las elevaciones térmicas no sobrepasan, al menos durante el período de estudio, nunca los 20° C. En general, en términos ecológicos se le puede definir como ecosistema de rhithron (epi y meta) característico, siendo siempre altos los niveles de O.D. debido a la captación por turbulencia.

#### 9) Río Henares.

Al vertir el Sorbe sus aguas al Henares se produce un fenómeno de dilución, pues las aguas del Henares tienen un fuerte contenido salino, debido a las litofacies saliníferas triásicas y liásicas que atraviesan algunos de sus afluentes (entre ellos el Salado). Con todo, si tomamos como patrón el agua del Sorbe lo que encontramos es una importante elevación en la cantidad de sales disueltas, traducida en una considerable subida de la conductividad,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ , sólidos en suspensión, dureza, alcalinidad,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na} + \text{K}$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{Cl}$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

A partir de aquí, todo el lecho por el que discurre el río es un cuaternario indiferenciado y las variaciones físico-químicas van a venir en lo fundamental provocadas, no como hasta ahora por las litofacies, sino por los distintos aportes polucionantes,

Desde la Alarilla a la siguiente estación, podemos decir que el río poco a poco va entrando en un valle más ancho y comienza a recibir pequeñas descargas agrícolas, industriales agrícolas (granjas de pollos y cerdos de Cerezo de Mohernando) y las descargas urbanas proceden-

tes de Yunquera (2.000 habitantes) y Fontanar (900 habitantes). La falta de sujeción de las laderas, sobre todo de la margen izquierda, debido a una insuficiente cubierta vegetal (recordemos que el río dibuja un valle a simétrico) hace que el río sea propenso a ser fuertemente turbio en cuanto llueve un poco. Todo esto va a traducirse, por una parte en un aumento de los sólidos en suspensión y por la otra llama poderosamente la atención la subida en compuestos de nitrógeno, procedentes de las labores agrícolas, en especial de nitratos,  $\text{SO}_4$ , materia orgánica,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{HCO}_3$  y ligeramente  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na} + \text{K}$ , y  $\text{Mg}$ . Podemos decir pues que en el río se produce un aporte suplementario de nutrientes, que en verano, cuando no hay lluvias, puede desencadenar fenómenos eutrofizantes. Además reseñamos un pequeño aumento en sílice, debido a aportes del Gadiel (recordemos que este río pasa la mayor parte del año seco),

Entre esta estación y la siguiente, el río va a recibir el primer impacto de importancia, por un lado Guadalajara, con cerca de 50.000 habitantes lanza sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento al río, y por otro lado descargas industriales procedentes del polígono del Galconcillo. Con relación a los vertidos urbanos de Guadalajara, podemos decir que representan unos  $15.000 \text{ m}^3/\text{día}$  de flujo, lo que se traduce anualmente, en un aporte al río de 600 Toneladas de materia orgánica, 110 Toneladas de Nitrógeno, 22 Toneladas de óxido potásico y 22 Tn. de fósforo, lo cual constituye un abono extraordinario que ejerce un gran impacto sobre el río.

Todo ello se va a traducir en un incremento drástico de la conductividad y en la subida de  $\text{HCO}_3$ , Cl, dureza, alcalinidad, Na,  $\text{SO}_4$ , Ca, Si, K, Mg,  $\text{PO}_4$  y  $\text{NH}_4$ . Como pe se a todo el caudal es importante y la corriente del río mantiene aún cierta velocidad, la caída del O.D. (hasta 2 ppm al alba) y el aumento de la DBO no son definitivos y el río va a poder autodepurar bastante bien mineralizando bastante rápidamente la materia orgánica, a  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  y  $\text{CO}_2$  (Incluso antes del vertido del Salconcillo van a darse fenómenos de invasión de infectantes acuáticos, debido a la proliferación de nutrientes que llegan a colonizar importantes tramos del río.) La estación de Chiloeches sita a 9 Kms de este vertido, recoge ya en gran medida el agua autodepurada, aunque es toavía muy rica en materia orgánica y se ha cargado definitivamente de sales disueltas.

Entre esta y la estación siguiente, puente de Santos de la Humosa, el río va a recibir vertidos agrícolas, donde predominan los organoclorados Aldrin y Dieldrin y en menor medida DDT y BPC (bifenilpoliclorados) y vertidos industriales procedentes del polígono industrial de Azuqueca de Henares con industrias tan importantes como Tudor y Duralex. De los datos obtenidos, señalaremos un aumento de la conductividad, de la dureza, del O.D. y de los fluoruros, deduciendo de aquí, que al menos en el período del estudio, los depuradores de estas empresas funcionan bien, traduciendo unicamente su impacto en una elevación de la alcalinidad. A que el impacto no sea mayor, posiblemente contribuya también el que al



encontrarnos en aguas fuertemente mineralizadas, la acción de los efectos tóxicos como metales y micropolucionantes de síntesis se ve atenuada, así p. ej. las aguas duras (ricas en  $\text{Ca}^{++}$ ) hacen precipitar los metales pesados (en este caso sospechábamos Pb de la Tudor)(algo similar pensamos que ocurre con el Fe cuyos valores no suben de 0,1 mg/L).

A partir de aquí, el río hasta Alcalá va a continuar su proceso de autodepuración, y así en la siguiente estación La Oruga, la existencia de una presa va a jugar el papel de un tanque de sedimentación, que "aclara" las aguas, permitiendo que precipiten parte de los sólidos en suspensión. Por otra parte, esta presa en verano al aumentar la evaporación, reduce el caudal con lo que se concentran las sales; por otra parte, las aguas represadas se calientan más que las aguas corrientes y en verano, la presa se convierte en el paraíso de los animales más termófilos, muchos de los cuales están allí acantonados. El salto de agua de la presa oxigena fuertemente por turbulencia al río, el cual a partir de aquí y hasta la entrada de Alcalá va ganando en calidad (salvo en conductividad y en la dureza, que ya son definitivas), de tal forma que permite incluso su uso recreativo (baño, pesca, etc).

A su paso por Alcalá y casi desde el Polideportivo Virgen del Val, el río va a ir recibiendo impactos sucesivos en principio orgánicos y biodegradables (en especial tres) que le degradan paulatinamente. En el puente Zulema ya pueden apreciarse de nuevo los primeros impactos

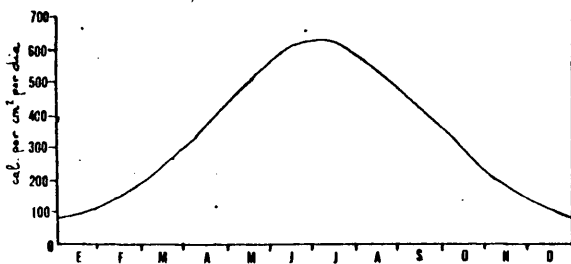
con caída de O.D. y subida de la  $DBO_5$  y justo tras el puente, otro vertido urbano industrial da un golpe definitivo. Para hacerse una idea de este impacto diremos que a su paso por Alcalá el río recibe aguas residuales sin tratamiento de ningún tipo de una población de unos 120.000 habitantes, lo que viene a suponer un flujo de  $32.000 \text{ m}^3/\text{día}$  que anualmente se traduce aproximadamente en 1.400 Toneladas de materia orgánica, 220 Tn. de nitrógeno, 50 Tn. de fósforo y 50 Tn de óxido potásico. Esto ya naturalmente es suficiente para que el O.D. caiga totalmente y la vida aerobia desaparezca, pero por si esto fuera poco y por si al río le quedaran ganas de autodepurarse, toda una gama de industrias Gal (que vierte directamente a la alcantarilla), Zanussi, Pinturas Aspes, Sielic, Galloso, Welcome le petit lanzan sus diversos vertidos industriales sin más miramientos, con lo cual las dos últimas estaciones El Gerafín y Espinillos, presentan un aspecto pésimo. Por un lado la gran cantidad de vertidos orgánicos ha sido capaz de taponar el lecho, con lo cual el suelo ya no puede actuar como un filtro para los sólidos en suspensión y está totalmente tapado por una capa física y biológica. La falta de O.D. (0 -2 mg/L) hace que los principales procesos metabólicos importantes allí realizados sean las fermentaciones, con lo cual no sólo la materia orgánica no puede mineralizarse bien, sino que aparecen como productos finales de la descomposición anaerobia  $H_2S$  y  $CH_4$  con lo cual, al añadirse el mal olor, aún se degrada más la calidad estética. Además, cuando sube la temperatura ó cuando baja la

presión atmosférica el desprendimiento de estos gases es capaz de arrastrar limos negros a la superficie. Por otra parte, al ser las aguas muy alcalinas, los vertidos de detergentes y jabones precipitan, precipitando también los fosfatos que resultan tóxicos para los Nitrobacter por lo cual suben los niveles de nitritos, siendo posteriormente devueltos los fosfatos al agua, desprendiéndose del limo, cuando el Desulfovibrio transforma los sulfuros en sulfuros. Y por si esto fuera poco, puesto que medran bacterias, los siguientes vertidos son de antibióticos y así los laboratorios Le petit lanzan un antibiótico provisto de un vistoso colorante rojo que podemos decir que acaba con la ya mermada vida del Sistema (no acaba del todo, pues existen microorganismos resistentes para todo y es de sospechar que Pseudomonas sea dominante). A partir de aquí, será el arroyo Torote el que se encargue de "resembrar" la vida en el Sistema, vida que no va ya a poder ser boyante, pues sin haberse todavía recuperado el Henares, va a recibir otro fuerte impacto en Torrejón y así vertirse posteriormente al Jarama.

#### 6. Variación estacional de estos parámetros.

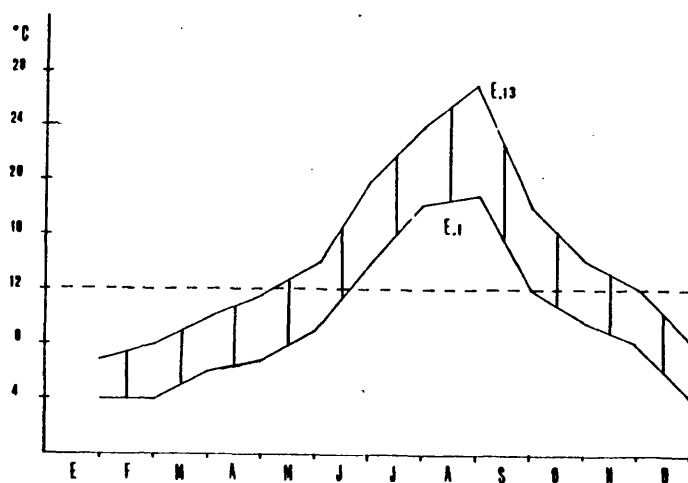
Los parámetros físico-químicos, aparte de las variaciones que pueden registrar diariamente reflejan muy importantes variaciones estacionales. Estas variaciones en gran medida, aparte de los factores que podríamos llamar cósmicos (ej. energía radiante) están relacionados, más que con la estación fenológica propiamente dicha, con

el régimen de caudales, que como ya se estudió en la primera parte de este trabajo, definimos como muy irregular. A continuación pasamos a describir parte de estas variaciones para el período 1.978-1.979



Con relación a la energía radiante, vemos que la cantidad total de radiación está estrechamente correlacionada con la estación. Esta energía radiante, parte va a ser absorbida por el agua, por los sólidos en suspensión y transformada en calor y otra parte va a ser dispersada, variando las longitudes de onda absorbidas en función de las sales disueltas (absorción de las longitudes más cortas azules) y de los sólidos en suspensión (absorción de luces naranja y rojas si son numerosos). Todo ello va a jugar un papel importante para los productores del ecosistema.

De alguna forma relacionada con esta radiación tenemos la temperatura que en sistema, durante el último año experimentó fuertes variaciones.



El estudio de las gráficas nos muestra que las variaciones en el Sorbe (de 4°C a 19°C) son sensiblemente menores que las que encontramos en el Henares (de 6°C hasta 27°C). En ambos ríos los máximos se dan en Julio-Agosto y los mínimos en Diciembre-Enero-Febrero y Marzo. Todo ello juega un papel importante de cara a los ciclos vitales de los seres vivos del Sistema. He señalado en las gráficas la temperatura de 12°C, básica para el desarrollo del fitoplacton.

Con relación a la variación de algunos parámetros, se aprecia una clara relación en función del caudal (y de la pluviosidad). De manera general podemos decir que existe una correlación inversa entre: el caudal del río, y la conductividad (cantidad de sales disueltas), la dureza (Ca y Mg) y el pH.

Esta correlación ya no está tan clara en lo referente a nitratos y fosfatos, donde se dan dos fenómenos inversos según el lugar del río. Así en el Sorbe y en la Alarilla las aguas pobres en fosfatos ven incrementada su concen

tración debido al fuerte lavado de suelos que originan las lluvias, con lo que podemos decir que para estas es taciones, existe correlación positiva entre el caudal y los niveles de ortofosfatos. Por otra parte, en todas las demás estaciones, donde el agua es ya más rica en ortofosfatos, lo que ocurre es el fenómeno contrario, pre valeciendo el fenómeno de dilución al de aporte y por tanto disminuyendo los niveles a medida que aumenta el caudal. Registrando las variaciones del abonado de los campos, los nitratos siguen el mismo tipo de variación que los fosfatos, salvo que se incrementan en verano y en otoño.

Con relación a los sulfatos, en las estaciones más próximas a los manchones oligocénicos, los sulfatos por la mayor acción erosiva generada por el aumento del caudal, suben manteniéndose esta subida bastantes Kilómetros aguas abajo, para volver a disminuir a partir de La Oru-ga.

Con relación a los sólidos en suspensión y por ende a la turbidez hay que decir que presenta grandes irregularida-des a lo largo del año, pero que en lo fundamental depen-de de la pluviometría y por lo tanto está en correlación positiva con el caudal del río, presentando siempre sus máximos en el Henares hasta Guadalajara.

Con relación a la materia orgánica, expresada bien como "poder reductor" (valor permanganato), bien como Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días ( $DBO_5$ ) también sufre im-portantes variaciones, dependiendo de la estación y del lugar del muestreo. Así p. ej. en el Sorbe se dan eleva-



ciones acusadas de ambos valores durante el otoño (Octubre y Noviembre) debido a los restos vegetales que caen al agua y también durante los meses de lluvias por los importantes arrastres húmicos que éstas generan. En el Huasteca, el fenómeno a partir de Guadalajara va a ser totalmente distinto, prevaleciendo siempre el fenómeno de dilución con el aumento del caudal y por lo tanto la disminución de la DBO<sub>5</sub>. El O.D. en general debido a que con el caudal aumenta la turbulencia, normalmente experimenta una cierta subida en sus valores mínimos, sin embargo, debido a la escasa fotosíntesis de invierno, nunca alcanza valores tan elevados como en otras estaciones (p. ej. 18 ppm. a 25° C a las 4 h pm. en Julio en Chiloeches), siendo por tanto sus variaciones circadianas bastante reducidas.

En general podemos decir que el impacto de la polución urbana e industrial biodegradable va a ser muchísimo mayor durante el verano y sobre todo en el inicio de un otoño no lluvioso, lo cual va a obligar a los seres vivos a adaptarse a estas contingencias.

Con relación a la contaminación industrial no orgánica, y por tanto no biodegradable, podemos decir que en parte ocurrirá lo contrario, pues al disminuir la dureza y la alcalinidad, productos tóxicos como los metales pesados, tendrán mucha mayor dificultad en precipitar siendo transportados mucho más lejos aguas abajo.

## 7. Bibliografía.

- ApHA "Standard Methods for Waters and Waste-waters 13 ed. (1.971)
- ApHA "Standard Methods" 14 ed. (1.975)
- ASTM. Manual of industrial Water, (1.960).
- Catalán La Fuente "La química del agua" (1.969) Blume
- Catalán La Fuente "Estudio químico y geoquímico del Sorbe" (1.966) Centro de Estudios, investigaciones y aplicaciones del agua.
- Catalán La Fuente "Estudio químico-sedimentológico de la cuenca del Tajo (Extracto de la tesis doctoral- 1.964)
- Dart, R.K. "Microbiological aspects of pollution control" (1.977) Elsevier
- FWPCA. Methods for chemical Analysis of Water and Wastes (1.969)
- Maitland, P.S. (1.978) "Biology of Fresh Waters" Blackie
- M.O.P. Estudio de las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas de la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Guadarrama y Henares. (1.973)
- Pesson, P. "La pollution des eaux continentales" (1.976) Gauthiers-Villars
- Rodier, J. "L'analyse de l'eau" (1.979) Dunod
- Román Casares, J. "Análisis y Calidad de Aguas" 1.965-66. Instituto de Hidrología.



## II.B: Los COMPONENTES BIOTICOS. ESTUDIO AUTOECOLOGICO

1) Los componentes bióticos como indicadores de calidad de aguas. Significación y métodos de estudio.

### 2) Los Macroinvertebrados Bentónicos.-

- 2.a) Insectos

2.a.1. Efemerópteros

2.a.2. Tricópteros

2.a.3. Plecópteros

2.a.4. Odonatos

2.a.5. Dípteros

2.a.6. Hemípteros

2.a.7. Coleópteros

- 2.b) Moluscos

2.b.1. Pelecípodos

2.b.2. Gasterópodos

2.b.2.1. Pulmonados

2.b.2.2. Prosobranquios

- 2.c) Tricládidos

- 2.d) Hirudíneos

- 2.e) Crustáceos

- 2.f) Oligoquetos

- 2.g) Bibliografía

### 3) Algas Bentónicas y Fitoplancton

- 3.1) Consideraciones generales y resultados
- 3.2) Variaciones estacionales
- 3.3) Conclusiones

#### 4) El zooplancton

- 4.1) Consideraciones generales y resultados
- 4.2) Variaciones estacionales
- 4.3) Conclusiones
- Bibliografía

#### 5) Los Musgos y las Macrófitas acuáticas

- 5.1) Las Briofitas
- 5.2) El Masturtion
- 5.3) El Callitrichion
- 5.4) El Eupotamion
- 5.5) El Fragmition
- Bibliografía

#### 6) Los Teleósteos del Sistema

#### 7) Ecología microbiana del Sistema Sorbe-Henares

- 7.1) Análisis de la variación estacional en el número de colonias
  - 7.1.1. Zona oligosaprobía
  - 7.1.2. Zona  $\alpha$ -mesosaprobía
  - 7.1.3. Zona  $\alpha$ -mesosaprobía
  - 7.1.4. Zona polisaprobía
- Bibliografía

## II 8. Los componentes bióticos

El estudio de los seres vivos que pueblan una cuenca fluvial, desde el punto de vista de la contaminación, presenta una serie de ventajas con relación a los parámetros físico-químicos. En efecto, si la contaminación se define como una alteración desfavorable del agua que merma su calidad para el uso y para la vida que soporta, los seres vivos dan una respuesta global biológica directa, a diferencia de los parámetros físico-químicos, que sólo nos informan indirectamente de como tal ó cual compuesto a determinadas concentraciones puede afectar a la vida. Por otra parte, los seres vivos nos suministran datos históricos y sus oscilaciones son muchísimo menores que los de los parámetros físico-químicos, cuyos valores son instantáneos. En tercer lugar, los datos físico-químicos son muy útiles para ilustrarnos sobre fenómenos de toxicidad aguda pero los problemas referentes a la toxicidad crónica y mecanismos de adaptación sólo pueden ser evaluados desde una perspectiva biológica.

El conocimiento de los componentes bióticos del ecosistema comprende 2 tipos de investigaciones complementarias: por una parte es necesario conocer cuales son y cual es la ecología de cada especie (en nuestro caso desgraciadamente en muchas ocasiones sólo género), es decir se requieren estudios de "Autoecología"; y por otra parte, el conocimiento de como todas estas especies interaccionan entre sí y con su medio, dando una idea de como la comu

nidad como un todo forma una arquitectura netamente definida, es decir el estudio "sinicológico" del sistema. En el presente capítulo solo abordaré los estudios de Autoecología, reservando el siguiente para el análisis en profundidad del Ecosistema como tal.

#### Selección de parámetros biológicos.

En principio, un estudio de estas características requiere el análisis minucioso de todo germen de vida presente en el sistema, sin embargo un trabajo tan ambicioso está fuera de las posibilidades materiales con las que normalmente se cuenta, con lo cual he tenido que abarcar sólo aquellos aspectos que me han parecido más significativos para el propósito de mi estudio, que tiene una vertiente eminentemente práctica. Así he hecho especial hincapié en macroinvertebrados bénticos, algas adheridas, plancton en general y peces, limitando el estudio bacteriano y el de las macrófitas a aquellos aspectos que me han parecido más significativos. Por otra parte levaduras, hongos y virus son los grandes ausentes. Una limitación que presenta el trabajo es la que la mayoría de los organismos estudiados, sólo están determinados a nivel de género; ello es debido por una parte a la inexistencia de buenas claves de clasificación para la fauna española, con lo que, al no ser un especialista, no me he atrevido a diagnosticar a nivel de especie. A parte de la limitación impuesta por la falta de claves, la escasez de estudios biológicos anteriores en la

zona, la falta de colecciones sobre la fauna acuática de la provincia, etc., son factores que han hecho aún más difícil el estudio ecológico, haciendome partir prácticamente de cero. Al señalar esto, sólo pretendo llamar la atención sobre la inmensa importancia que tiene el ultimar de una vez y coordinadamente, el estudio en profundidad de nuestra fauna y nuestra flora, estudio que sin lugar a dudas, es uno de los pilares imprescindibles para que pueda desarrollarse la Biología en nuestro país.

A) Macroinvertebrados bénticos. Su importancia como indicadores.

Sin ningún género de dudas, el estudio de los macroinvertebrados bénticos, es el más útil y el más real, con los conocimientos que hasta ahora disponemos, para indicar el estado de las aguas de un río y al mismo tiempo controlar su calidad. Ello es debido a que los macroinvertebrados presentan las siguientes ventajas sobre otros grupos de seres acuáticos:

a) Presentan en general, un alto valor de HISTERESIS, lo cual nos va a permitir por un lado, debido a sus costumbres sedentarias y a sus hábitos relativamente estacionarios, obtener resultados significativos en cuanto a los análisis espaciales, y por otra parte, por lo relativamente largo de sus ciclos vitales podemos obtener valiosos resultados en cuanto a los análisis temporales. Así pues, los macroinvertebrados bénticos nos permiten el estudio de dos recursos ambientales fundamentales: el

espacio y el tiempo.

b) Muestran una gran heterogeneidad, cubriendo una amplia gama de formas y de hábitats, siendo la comunidad como un todo un indicador sensible de tal ó cual tipo de contaminación y pudiendo los índices de diversidad representar bien el tipo y la intensidad del stress al que se ven sometidos por la polución en un punto dado.

c) En general, en los países desarrollados, existen buenas claves para la mayoría de los grupos.

d) Son relativamente "populares" y su muestreo no requiere de un equipo altamente sofisticado.

Naturalmente no todo son ventajas, siendo los principales inconvenientes:

1) Muchas especies "derivan" ("drift") y son descubiertas en regiones en las que no pueden mantenerse indefinidamente. Entre los grupos que presentan una mayor deriva se encuentran Efemerópteros, Dípteros y Coleópteros, y entre los que menos los Moluscos y los Hirudíneos.

2) Algunos de ellos resultan difíciles de identificar (Quironómidos y Oligoquetos), y esta dificultad es extraordinaria para aquellos grupos en los que no existen buenas claves, p. ej. larvas de Tricópteros y Quironómidos.

3) Los problemas referentes a su cuantificación, hoy por hoy, pese a la multitud de métodos y modelos, son insolubles. Así p. ej. Chutter (1.972) ha calculado que son necesarios 450 muestreos para obtener un 5% de error y un 95% de seguridad en un sólo punto. Si a este elevadísimo número de muestras, le sumamos que el método de

recogida de animales está deformando la realidad (esta mos extrayendo biomasa) haciendo el que cada vez los va lores obtenidos sean menos significativos. Todos los mo delos estadísticos descritos, pese a justificarse su uso con el aforismo "más vale algo aunque malo que nada" resultan en verdad espúreos y realmente su utilidad es nula.

Con ello tal vez nos enfrentamos con la mayor desventaja que presentan los macroinvertebrados y que se concre ta en la dificultad de estimar su ABUNDANCIA.

4) Naturalmente otra limitación más es la necesidad de seleccionar siempre en substratos similares cuando se muestrea.

5) Tener en cuenta que muchos de los habitantes de las aguas corrientes pasan fuera del agua una parte de su ciclo vital con lo que su ausencia, antes de pensar en la contaminación, debe ser examinada con especial cuida do siempre sin perder de vista el estudio autoecológico.

#### . Métodos de Muestreo.

La gran diversidad de macroinvertebrados y su no distri bución al azar a lo largo del sistema obliga a que los métodos de captura tengan que ser lo suficientemente va riados para que el muestreo sea significativo; en general cada método suele ser útil para obtener datos fiables de una comunidad determinada, pero son malos para otra. Esto me ha obligado a que en cada estación analizara la comunidad lótica y la léntica, teniendo a veces

que variar el procedimiento de captura.

Los métodos utilizados aquí han sido:

- En el río Sorbe y en el Henares, en las orillas y allí donde el río no era muy profundo, y allí donde la velocidad de la corriente no era tan fuerte para permitirlo, he utilizado el muestreador de fondo Surber, que para los hidrobiólogos viene a significar algo así como el "mariposero" para los cazadores de Lepidópteros. Este muestreador está formado por dos marcos unidos, uno de los cuales contiene la red y el otro delimita la zona a muestrear (1 pie cuadrado). El muestreador se coloca con tracorriente para que ésta ensanche la red y se aprieta bien con las rodillas al fondo el marco que delimita la zona a muestrear. Se levantan las piedras y posteriormente se agita el fondo de tal forma que los seres desprovistos de sus guaridas naturales, por efecto de la co rriente van a parar a la red. El contenido de la red se deposita posteriormente por decantación en un cubo lleno de agua hasta la mitad. La decantación se hace sobre un tamiz de malla que sirve para concentrar a los organismos capturados. Es importante también examinar las piedras y otros tipos de sustratos, para con unas pinzas poder capturar los organismos que estén fijos en ellas. Las poblaciones albergadas en torno a las matas de plan tas se capturan con la red combinada de Thienemann que consiste en una red de mano grande de gasa de nylon y lino que soporta otra red más pequeña metálica. En esta criba se lavan las plantas quedando en la gasa el detri tus y los organismos más pequeños y en la criba las plan



tas y los organismos de mayor tamaño.

Para en aguas profundas, no pedregosas, poder coger muestras del fondo lo menos transformadas que sea posible, he utilizado la clásica draga Ekman-Birge con la mejora de Lenz, con una superficie de fondo de  $225 \text{ cm}^2$  y que se cierra mediante un mensajero.

Para determinar la deriva he utilizado una red de plancton con abertura cuadrangular, colocada de tal forma que ni toca fondo ni sobresale del agua, y en tiempos de exposición de 2 h. en 2 h. durante 24 h. seguidas una vez cada 3 meses en cada estación. El tiempo de 2 horas me lo dió la experiencia pues para tiempos mayores (2 h.30) las redes se colmatan y dan valores más pequeños.

Los ejemplares capturados han sido observados en cubetas de fondo blanco, de distintos tamaños, y posteriormente han sido fijados para su conservación e identificación. Este tratamiento varía según los grupos faunísticos capturados. Así para los Tricládidos, una vez extendidos en agua se les cubre con el sublimado nítrico de Steinmaun-Breslav (1  $\text{NO}_3\text{H}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Hg}$  en agua salada 5%, agua destilada 1:1:1), pasándose al minuto al alcohol y desublimando luego en alcohol yodado, ultimando su conservación en alcohol de 70%. Para Oligoquetos, una vez estirados (las formas sin cubierta narcotizadas con hidrocloruro de hidroxilamina al 2%) se tratan con una solución caliente de Schaudin (cloruro mercúrico solución acuosa/R-OH 96% 2:1) y se conserva en alcohol al 80% con gotas de formalina. Los hirudíneos se narcotizan con sulfato magnésico y se les fija con solución de Schaudin conser

vándoles en alcohol al 80%. Los crustáceos se matan con formalina al 4% y se conservan en alcohol de 96 acompañado con 40 mg. de glicerina por litro. Los plecóp<sup>te</sup>ros, efemerópteros, odonatos, hemípteros, tricópteros, coleópteros y dípteros se fijan y se conservan en alcohol al 70%. Los moluscos gasterópodos se narcotizan cuando están estirados y se conservan en alcohol de 70. Los lamelibranquios se hierven en agua hasta que abran las conchas y se conservan en alcohol de 70. (Nota: para Moluscos no debe usarse formalina como substitutivo del alcohol).

Finalmente todos los ejemplares han sido contados, medidos y clasificados hasta donde ha sido posible su identificación, utilizándose para cada grupo las claves disponibles que se detallan en la bibliografía del capítulo. También algunos ejemplares han sido capturados y conservados in vivo para realizar bioensayos con ellos. Una parte de los bioensayos ha consistido sólo en el trasvase de un número suficiente de ejemplares de una especie de una estación a otra del río, donde teóricamente podrían sobrevivir y sin embargo no se encontraban presentes, para ello se ha pretendido crearles un substrato lo más similar posible al que tenían. La otra parte de bioensayos se ha realizado en laboratorio fundamentalmente con larvas de insectos (Perlodes, Baetis, Ecdyonurus, Hydropsyche y Chironomus). La metodología seguida es la que se encuentra en Standard Methods 14th. Ed. 1.975 APHA - AWWA - WPCF pag. 827-834.

B) Algas bénticas. Plancton. Su importancia como indicadores.

Después de los macroinvertebrados son las algas los organismos mas utilizados como indicadores de la calidad del agua. Las ventajas que presentan en general las algas derivan a que sin ningún género de dudas son los se res más utiles para determinar el grado de eutrofización de un agua y tambien son muy sensibles (en especial las algas bénticas) para detectar los efectos de la turbidez (sólidos en suspensión). A nivel mundial puede decirse que su respuesta a los distintos tipos de contaminación está bastante bien documentada (Fjerdingsstad, 1.964; Palmer, 1.969 etc.) y su conteaje, si se dispone de los aparatos requeridos (no es mi caso) es automático (incluso en el mundo se utilizan actualmente sistemas automáticos de identificación de diatomeas mediante rayos laser.

Para el caso del zooplancton, en especial Protozoos, pre senta la ventaja de su rápida respuesta frente a los cam bios ambientales, estando sus valencias saprobílicas bien determinadas (Bick 1.968, Sladeczek 1.971) Algas y Protozoos debido a su pequeño tamaño y su cantidad no sólo influncian ciertos aspectos abióticos de calidad de las aguas (pH, color, olor, sabor etc.) sino que tambien en un sentido práctico, forman parte de la propia calidad del agua.

Los principales inconvenientes de utilizar algas provi nen por un lado en que no parecen útiles para detectar

una fuerte polución de tipo orgánico y por lo tanto no sirven como buenos indicadores de contaminación fecal. Tampoco suelen ser especialmente sensibles a pesticidas y a metales pesados. También presentan problemas varios del tipo de Drift en las formas flotantes ó referentes al conteo en las formas epilíticas y epifíticas, resultando en ambos grupos muy difícil distinguir entre formas vivas y muertas. Una dificultad ulterior proviene de que no siempre resulta fácil el clasificarlas, necesitando cierta práctica.

Los Protozoos por su parte también presentan el problema del drift, la tremenda inestabilidad de sus poblaciones, su gran variabilidad de microhábitats que hace que para obtener valores indicativos sea necesario recurrir a estudios cuantitativos, resultando a veces difícil también su clasificación taxonómica y requiriéndose un buen equipo para su estudio.

#### . Métodos de muestreo.

Las consideraciones tenidas en cuenta en cada estación, han sido la toma de muestras en ambas orillas del río (dado que la mezcla lateral del agua del río puede no tener lugar hasta aguas más abajo del efluente), el muestrear la subsuperficie (que en un río debido a que la mezcla vertical es buena, es la zona más representativa de la comunidad) y el tomar siempre las muestras en el principal caudal del río, evitando lo más posible los hábitats particulares que sólo reflejan condiciones loca-

les.

Con relación a las algas epilíticas, epifíticas y epipédicas, dado lo difícil que resulta un conteo significativo, he establecido standarizando una unidad de superficie (5 x 5 cm.) dos tipos de estudio: uno puramente cualitativo, que consiste en recoger las algas "raspándolas ó cepillándolas" con cuchillo y con rascador, y posteriormente identificarlas expresando su frecuencia relativa; y otro basado en la estimación indirecta de la biomasa y pigmentos fotosintéticos (según el Método descrito por la ONU nº 65/XVIII 1/1.965) y obtención del índice  $D_{430}/D_{665}$  de Margalef, extrayendo la clorofila con acetona al 90% en lugar de con metanol, debido a que la clorofila a es más estable en acetona al 90%, su banda de absorción está más afinada en el rojo para este solvente y el coeficiente de extinción es mucho más alto.

Con relación al plancton, éste ha sido tomado con una botella topacio tomamuestras de 1 litro, y con la red utilizando redes provistas de sus correspondientes copas con diámetros de apertura de 25 cm. y de 40 cm. y con longitudes del cono de la red de 50 cm y de 100 cm. respectivamente con una apertura de poro de 55 micrones. Las muestras recogidas son clasificadas en dos tipos de lotes: unos "vivos" en los cuales no se llena el contenedor, frasco color topacio que se guarda en la oscuridad, y se transfieren inmediatamente a una nevera portátil siendo examinados "in vivo" en las siguientes 4 horas; otros "muertos" en los cuales se llena el conte-

nedor y se tratan con 40 ml. de formalina por litro ó con Lugol (1 ml. a 100 ml de muestra) si se pretende el estudio de los flagelados. Para el análisis de las muestras, éstas se concentran en una cámara tubular de sedimentación de 10 ml. y se estudia al microscopio invertido, el contaje se realiza con ayuda de un retículo de Whipple-Gri, calibrado con un micrómetro de campo.

#### . Bacterias.

Las bacterias presentan la ventaja de ser buenos indicadores de contaminación fecal. Frente a alteraciones en el medio ambiente tan variadas como polución orgánica ó metales pesados, responden rápidamente. Las muestras son fáciles de obtener y existe ya una metodología de rutina bien desarrollada.

Sus principales desventajas radican en el drift, que origina que su número máximo se encuentre generalmente aguas abajo del origen de la contaminación orgánica. Por otra parte se desconoce aún la ecología bacteriana de las aguas "limpias", se requiere un equipo de esterilización, se tardan al menos 48 horas en empezar a obtener resultados y además existe una gran variabilidad en los contajes. También sin técnicas especiales, resulta difícil distinguir entre vivas y muertas.

#### Métodos utilizados.

Por causas de fuerza mayor el estudio bacteriano se ha

referido sólo al número más probable (NMP), Streptococos fecales, y a la presencia ó ausencia de determinados patógenos.

La muestra fué siempre recogida en botellas de cristal topacio con dos cristales de tiosulfato sódico, esterilizadas, de 250 ml. de capacidad e inmediatamente trasladadas a nevera portátil.

Los métodos utilizados son los clásicos y se encuentran perfectamente descritos en "Standard methods" 14 ed. 1.975 APHA pag. 916-926 para el MPN, en "Microbiological aspects of pollution control" R. Dart. Elsevier pag. 87-90 para Streptococos fecales y detección de patógenos Salmonella y Shigella utilizando filtración de membrana y W. Selenite F. a 42° C 18 horas y resiembra en agar Wilson and Blair como medio selectivo.

#### . Peces.

Los peces presentan la ventaja de que al estar situados en los niveles superiores de las redes tróficas su existencia integra la suma de las condiciones de las formas biológicas más bajas y es el resultado de la calidad total del agua, ya que los factores de calidad que alteran el balance ecológico de las poblaciones de perifiton, plancton, algas y macroinvertebrados bénticos también afectan indirectamente a las poblaciones de peces, al privarles, bien sea de alimento, bien sea de guarida o lugar de desove. La identificación de los peces resulta también fácil y potencialmente los estudios sobre las po

blaciones de peces pueden ser representativos como panorámica climax producto de las comunidades acuáticas. Naturalmente todo esto es verdad si obviamos una gran desventaja: su gran movilidad, producto de una desarrollada conducta que les hace huir del peligro. La única forma de limar esta gran desventaja radica en la construcción de dispositivos experimentales que sirvan de detectores de polución (p. ej. tipo del de Leynaud- Barbier 1.972) que normalmente utiliza trucha arco-iris (*Salmo gairneri*) y un detector fotoeléctrico conectado a una alarma que funciona cada vez que el pez, por efecto de la intoxicación se debilita y es arrastrado por la corriente. Detectores de este tipo funcionan en muchos de los abastecimientos de agua potable de Escocia, Inglaterra y Francia. Sólo en este caso, o allí donde no existen los peces resultan verdaderamente útiles como indicadores de contaminación. Otra desventaja de trabajar con peces viene que la recolección de muestras, aparte de difícil significación, supone una gran pérdida de biomasa para el Sistema.

Con relación a los métodos de captura empleados citaré la tesina que codirigí presentaba por Julio Gomariz sobre "Influencias ambientales y contaminantes sobre los Teleósteos del Sistema Sorbe-Henares. Febrero, 1.979" con lo que no tiene objeto repetir lo que ya está escrito, limitándome en el estudio de los peces del Sistema a tocar aspectos no tratados en la tesina, bien en cuanto a distribución (de Muriel hacia el Crenon), bien en cuanto a su ecología y su papel en los distintos subeco



sistemas.

#### . Macrofitas y Musgos.

El estudio de las macrófitas y musgos acuáticos presenta la ventaja de que nos encontramos frente a organismos fijos, que pueden ser fácilmente descubiertos e identificados. En general además van a ser muy buenos indicadores de la cantidad de sólidos en suspensión que porta el Sistema. También en aguas blandas van a ser buenos indicadores de los aumentos en sales.

Las desventajas estriban por un lado, en que pese a la gran cantidad de estudios realizados en ellos (Besch y Roberts-Pichette, 1.970, "River plants" 1.977) sus respuestas a la contaminación no están aún lo suficientemente establecidas. Por otra parte, al ser estacionales, existe un largo período del año en el que al no existir no nos sirven para nada. Otra desventaja es que parecen tolerar bien poluciones intermitentes y además en aguas duras, como las del Henares, no son tan buenos indicadores del enriquecimiento salino.

El ponderar ventajas y desventajas me ha obligado a seleccionar sólo aquellos macrófitas y musgos que por sus aspectos ecológicos o de contaminación, me han parecido más importantes en cada tramo del río.

La recogida cualitativa de Macrófitas y musgos es muy sencilla ya que se toman directamente y se trasladan con un poco de agua al laboratorio para ser identificadas rápidamente. Los muestreos cuantitativos (área de cre-

cimiento, biomasa, peso fresco ó seco por unidad de superficie), desde mi punto de vista en el río son muy poco significativos y por eso no los he realizado.

#### . Resultados y Autoecología:

##### A) Macroinvertebrados bénticos.

##### I) Insectos.

Desde el punto de vista de la diversidad, los insectos representan cerca del 60% de todos los géneros de macroinvertebrados capturados en el Sistema. De ellos el 16,3% corresponde a los Tricópteros, el 5,4% a los Plecópteros, el 18,18% a los Efemerópteros, el 12,7% a los Coleópteros, el 23,63 % a los Dípteros, el 1,8% a los Colémbolos, el 7,2% a los Hemípteros y el 14,5% a los Odonatos. Pasaré a continuación a dar los resultados y su distribución espacial, así como a comentar las principales características ecológicas de la mayor parte de ellas.

##### a) Efemerópteros.

Comienzo el estudio por este grupo de seres por ser desde mi perspectiva los insectos más verdaderamente acuáticos, puesto que su vida fuera del agua es como su nombre indica "efímera".

Si nos fijamos en el cuadro de resultados podemos comprobar la existencia de una verdadera zonación horizontal de este grupo de seres a lo largo del Sistema. Su

continua presencia nos habla ya de que se trata de organismos que van a ser capaces de colonizar los más diversos tipos de sustratos. Evidentemente esta distribución no es al azar, ni puede explicarse sólo desde el punto de vista de la diversa intensidad de la contaminación a lo largo del Sistema, sino que es necesario recurrir a las complejas interacciones ecológicas: adaptación a un medio determinado, recursos alimentarios, competencia, existencia de depredadores, intensidad de la contaminación natural ó no natural en cada punto, etc... Para ir desenredando este nudo gordiano pasaré a relatar que es lo que tienen todas en común y cuales son sus aspectos diferenciales.

|                         | ESTACIONES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|-------------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| EUFEMEROPTEROS          | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Habroleptoides (moesta) |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Ecdyonurus (venosus)    |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| E. spp                  |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Rhithrogena             |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Heptagenia spp          |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Paraleptophlebia sp.    |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Oligoneurella           |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Caenis sp.              |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Pothamantus luteus      |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Centroptilum luteolum   |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Ephemerella             |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Ameletus spp            |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Branchycercus sp        |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cleon sp.               |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Baetis sp <sub>1</sub>  |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Baetis sp <sub>2</sub>  |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Baetis rhodani          |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

#### Caracteres generales:

Como su nombre indica, la parte de su ciclo vital como adultos es muy corta (generalmente de 2 a 3 días) y sirve sólo para la reproducción. Los huevos son depositados directamente en el agua, individualmente o formando una especie de paquete, hundiéndose ó adhiriéndose a piedras ó a vegetación. En función de la temperatura eclosionan. A partir de aquí sufren varias mudas, algunos más de 20, variando su número y la duración de cada una en función de la especie. Su alimentación (salvo unos pocos depredadores que no hemos observado en el sistema) se compone fundamentalmente de algas y de detritus vegetales. Su respiración se realiza gracias a branquias situadas lateralmente en los segmentos abdominales, existiendo gran variabilidad en su forma y disposición según el modo de vida de cada especie.

#### Caracteres distintivos:

##### A) Ecdyonurus.

Están caracterizados como unos organismos típicos de aguas limpias, y así en los índices bióticos modernos (tipo del de Verneaux en Francia) están colocados en 1º lugar junto a los Plecópteros en la lista de grupos faunísticos que indican calidad de agua.

Desde mi perspectiva se trata de organismos típicos de rhithron perfectamente adaptados al substrato que colonizan. Ecdyonurus vive sobre piedras expuestas a la corriente y debido a ello y como adaptación a este tipo de

vida, destaca su forma plana que le sirve por un lado para ofrecer una menor resistencia a la corriente y así evitar el ser arrastrado y, por otra parte, esta forma que permite un mejor acople al sustrato y limita superficie debe constituir también una forma de protección frente a sus depredadores (*Salmo trutta fario* y *Polyce-lis* que he comprobado). Con relación a su abundancia relativa diré que es más numeroso en piedras sueltas que en piedras totalmente hundidas en el fondo y que en estas últimas es más abundante que en piedras pequeñas o gra-vas, Pese a ser un animal reófilo, su conducta con rela-ción a la corriente varía según el desarrollo y así a medida que va aproximándose al estadio de adulto va mi-grando hacia las orillas, buscando aguas más tranquilas. Su alimentación la constituyen fundamentalmente algas bénticas, de las que se nutren colocando la cabeza fren-te a la corriente, apretando el labrum contra la piedra para proteger las partes bucales de la corriente, mien-tras que sus palpos labiales, provistos de robustas cer-das en su parte inferior, cepillan las algas detrás del labrum y entre las grandes mandíbulas.

Con relación a su ciclo vital, parece de tipo univolti-no simple, pero presenta la particularidad de poseer un extenso período de vuelo. Así en la estación nº 1 a fi-nales de Diciembre de 1.978 tuvo lugar un período de e-mergencia (este último verano se prolongó hasta princi-pios de Diciembre), en la estación nº 3 emergió a fina-les de Enero, en la 4 a finales de Septiembre, en la 5 encontramos dos poblaciones de distinto tamaño, tal vez

provenientes por drift de cada uno de los dos ríos, estando de acorde los de menor tamaño, con los de la estación nº 4, con lo que encontramos larvas, ninfas, preimagos e imagos a lo largo de una gran parte del año sobre una misma estación. Aguas abajo son más abundantes (evito el dar los números, pues no creo más que en su significación indicativa) las formas más grandes que las pequeñas, lo que podría sugerir un tipo de migración por drift similar al desplazamiento hacia las orillas de las ninfas más viejas. Más abajo de la estación 6 los vertidos de Guadalajara suponen una barrera infranqueable, la mayor parte del año, que sólo puede ser franqueada, un poco a la fuerza, durante los períodos de crecida, que además de aumentar el drift diluyen la polución y permiten la supervivencia de algunos de los miembros allí deportados. Con relación a su distribución de frecuencia a lo largo del sistema, la impresión que saco es que me da sin grandes dificultades en la estación nº 1, sólo amenazado por "Polycelis" y posiblemente "Plectonemia camparsa" (en experiencias realizadas en laboratorio este Tricóptero las devoraba, aunque prefería a Baetis). En la estación nº 2 son poco numerosos debido por un lado a lo fuertemente turbio que es el río debido a los arrastres húmicos generados por la lluvia y a la escasa cubierta vegetal de las orillas, lo cual junto con la escasa cantidad de sales disueltas en el agua hace que las poblaciones algales de las que se nutre no sean muy abundantes, y por otra parte, esta zona constituye la región de la trucha del río y las "gusarapas" (nombre

popular que dan los pescadores a los Ecdyonurus) consti-  
tuyen uno de sus platos favoritos. En las estaciones 3  
y 4, el río ya regulado por el Embalse del Pozo de los  
Ramos va a tener un caudal más estable y además va a ir  
se cargando de sales con lo cual aumenta el número de  
algas y por lo tanto el de Ecdyonurus. En la estación  
nº 5, justo tras la confluencia de los dos ríos es don-  
de se produce el gran "boom" de estos seres, llegando a  
alcanzar su máxima diversidad, a ello contribuye sin lu-  
gar a dudas el aumento en conductividad, debido al apor-  
te salino del Henares, con lo que aumenta su disponibi-  
lidad de comida, y a la desaparición de Salmo trutta fa-  
rio, que queda limitada a aguas arriba. De aquí a la es-  
tación nº 6, se reduce de nuevo su diversidad y su abun-  
dancia posiblemente debido al aumento de materia orgáni-  
ca en el agua (vertidos de Yunquera y Fontanar) y posi-  
blemente a una mayor competencia con otros tipos de or-  
ganismos. A partir de Guadalajara, en tiempos de mínimo  
o medio caudal sus posibilidades de supervivencia, aguas  
abajo son nulas.

Con relación a profundizar un poco más en cuales son los  
factores no bióticos que limitan su distribución, compa-  
raré los distintos datos obtenidos en la realidad con  
los de los bioensayos de laboratorio.

Un primer factor a considerar, al ser seres reófilos es  
su resistencia a la corriente; ésta ya desde muy anti-  
guo fué medida por Ditman (1.955) y Dorier (1.955) "Sur  
le facteur vitesse du courant. Verh. int. Verein.theor.  
angew. Linnol 12" y así mientras Ditman localizaba a



Ecdyonurus en la franja de velocidades comprendida entre 48 y 77 cm/sg, con un óptimo sobre los 57; Dorier y Vaillant señalaban que la velocidad máxima a la que resistían sin ser arrastrados era de 154 y la velocidad máxima a la cual pueden nadar contra corriente era de 99. La experiencia muestra que en el Sistema Ecdyonurus aparece entre 110 y 40 cm/sg encontrando su óptimo cercano a los 60. Estos datos nos ayudan a explicarnos, por un lado las mutilaciones que he observado en algunos Ecdionúridos en períodos de crecida (fundamentalmente apreciables en la ruptura de sus cercos caudales) y su intento de evitar las velocidades demasiado fuertes, cuando éstas se producen, tendiendo a concentrarse en estos casos, más a la orilla. Este factor posiblemente también contribuya, junto con los mencionados anteriormente, a su reducido número en el tramo del río sito por encima de la estación nº 2.

Si los diversos autores han considerado a Ecdyonurus como ser indicador de aguas limpias, ello es debido a que los tipos de polución más frecuentemente estudiados han sido los debidos a contaminación de tipo orgánico, y como se sabe, uno de los fenómenos que caracterizan este tipo de polución es la caída de los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Cabría pues preguntarse, dada la estrecha relación de la velocidad de la corriente con la turbulencia y por lo tanto con los niveles de oxígeno disuelto, si la supuesta reofilia no es más que un factor redundante con la necesidad de unos niveles determinados de oxígeno disuelto en el agua. Una experiencia

interesante sobre esto la realizó Ambuhl H. (1.961) Verh. int. Verein. Theor. angew Linnol. 14 y (1.962) Z. Hydrol 24 367-82, 7,163 el cual demostró que la variación de la corriente (de 0 a 7 cm/sg) no afecta al consumo de o xígeno que se mantiene en 4 mg O<sub>2</sub>/gr. de peso seco en 1 hora. Por otra parte también comprobó que a medida que aumentaba la velocidad de la corriente, disminuía la con centración umbral de oxígeno disuelto necesario para la supervivencia. La realidad del sistema parece sugerir que la desaparición de los Ecdionúridos está directamen te relacionada con la cantidad de materia orgánica en el agua, no superando límites de oxígeno disuelto constantes por debajo de 6 mg/L y no existiendo nunca en aquellas partes donde el Sistema presenta una DBO<sub>5</sub> mayor de 8 ppm. Ello me ha hecho seleccionar a los Ecdionúridos como alarma biológico frente a contaminación por materia orgánica, detergentes, insecticidas y abonos. (No desarrollo este aspecto aquí, pues fué expuesto, junto con el calibrado de su sensibilidad, como bioindicador de hiporhithron, en comunicación en las III Jornadas Nacionales de Ciencias Hidrológicas por Elorrieta-Tortajada, (Abril, 1.979) recogién dose posteriormente en la publicación con el título "Alarmas biológicas en el Sistema Sorbe-Henares").

#### B) Habroleptoides.

Estas efémeras, pertenecientes a Leptophlebiidae, están limitadas sólo a las primeras estaciones del sistema. Ello nos indica que existe correlación directa entre su

distribución y la altitud, es decir que va a ser fundamentalmente la temperatura la que controle el desarrollo de estos seres; son pues seres psicroestenobiontes. Las incluyo aquí, aparte de por su presencia en el sistema, por toda una serie de adaptaciones ecológicas que las hacen apartarse del patrón general. Lo primero que de ellas llama la atención es su forma, clara adaptación anatómica al substrato que ocupan. Habroleptoídes es muy larga y estrecha y sus patas están insertadas lateralmente, de cara a poder moverse eficazmente a través de los pequeños resquicios existentes entre las piedras, que constituyen su hábitat. Este hábitat, pues, tiene unas características muy especiales que hacen que Habroleptoídes pueda estar siempre expuesta a agua corriente fresca y rica en oxígeno, capaz de transportar comida en suspensión (detritus) y de renovar constantemente el oxígeno. Pese a presentar, como la mayoría de los Efemerópteros, un ciclo de vida univoltino (es decir, una sola generación al año) exhibe unas características muy especiales. Así para empezar diremos que la puesta de los huevos (o viposición) tiene lugar en la orilla, con lo cual la larva que eclosiona tiene que migrar hacia su hábitat clásico. La temperatura va a jugar un papel esencial en todo este ciclo y así es que en los distintos muestreos descubriera especímenes muy pequeños, mucho tiempo después de que hubiera transcurrido el período de vuelo de los adultos, sugiere que existe una ruptura irregular de los huevos. En general podemos decir que los primeros estadíos larvarios, provenientes de la eclosión de los

huevos, son capaces de supervivir en este período en el cual la temperatura del agua alcanza su máximo y por tanto el oxígeno disuelto disminuye; mientras que los ejemplares que provienen de la generación anterior, están expuestos a la doble presión de por una parte incrementar su velocidad respiratoria para poder compensar el déficit de  $O_2$  y por otra parte a la necesidad de disminuir la relación entre superficie y peso. Esta doble presión suele ser lo suficientemente fuerte para aniquilar a estos "semiadultos" más tardíos; con lo cual la temperatura actúa como un factor de selección natural que controla la población. Los primeros estadios larvarios, que subsisten en el período cálido, no crecen y se desarrollan hasta que bajan las temperaturas, presentándose la peculiaridad, a diferencia de un gran número de otras larvas de insectos, que durante la estación fría es cuando alcanzan un mejor desarrollo.

Con relación a sus costumbres alimentarias también van a ser relativamente originales, pues recordando a los conejos, comedores de detritus, van a ser capaces de alimentarse de sus propias heces plegando el abdomen hacia la boca con ayuda de sus patas traseras. Este tipo de adaptación, que incrementa la eficiencia de la digestión del material refractario, posiblemente esté más extendido de lo que pensamos entre los comedores de detritus. Lo restringido de sus hábitats, desde mi punto de vista, pese a su valor ecológico, no los hace válidos para ser utilizados como alarmas biológicas de calidad de las aguas.

## C) Heptagenia.

Aunque en la gráfica de resultados he escrito sólo Heptagenia sp, posiblemente en el sistema estemos en presencia de 2 especies diferentes: "Heptagenia lateralis" propia de las aguas blandas entre las estaciones 2 y 3 y "Heptagenia sulphurea" propia de aguas más duras en las estaciones 5 y 6.

Heptagenia está adaptada a vivir bajo las piedras batidas por una corriente relativamente moderada lo que contribuye a la consabida adaptación anatómica de adoptar la morfología plana como Ecdyonurus. Aunque se trata también de una especie univoltina su regulación va a ser totalmente diferente de la de Habroleptoides. Los huevos son depositados a principio de verano y eclosionan al llegar el otoño. Señalemos que los diferentes tamaños de las capturas en una estación y en un tiempo dado sugieren que estas efémeras presentan también este fenómeno de "diapausa en los huevos" controlada por la temperatura y mediante la cual los huevos sirven como estados letárgicos permitiendo a las especies resistir condiciones desfavorables. Parece que en el caso de Heptagenia la franja y el efecto de las temperaturas es más estricto que en casos anteriores y así el agua por encima de 18° parece perjudicial por demasiado caliente para estos seres, por lo cual este período de calor deben superarlo en el estadio de huevos que sí lo resisten bien. Sin embargo el relativamente rápido enfriamiento de las aguas en otoño e invierno hacen que la eclosión y el inicio del desarrollo que ocurre en otoño se vea fuertemente

inhibido durante el período de aguas frías y que sólo comience un crecimiento espectacular cuando de nuevo vuelve el agua a calentarse en primavera (en nuestro sistema aparece a finales de marzo), estableciéndose una verdadera carrera "contra-reloj" pues deben completar su desarrollo ninfal antes de que la temperatura se vuelva demasiado alta (18° C), lo que no pueden lograr si el agua se calienta demasiado deprisa. Sus poblaciones se ven fuertemente mermadas en períodos de sequía estacional fuerte.

Los diversos bioensayos realizados por distintos autores recogidos entre otros por Selwyer S. Roback (1.974) dan para *Heptagenia* spp. las franjas siguientes:

| <u>Fe</u>       | <u>pH</u>             | <u>Alcalin</u>        | <u>Cl</u>             | <u>DO</u>             | <u>Dureza</u>         | <u>Ca</u>  |                 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------|
| (ppm) 0,01-0,89 | 5,5-8,3               | 4-124                 | 1-40                  | 5-11                  | 8-178                 | 2-37       |                 |
| <u>Mg</u>       | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u> | <u>Turbidez</u> |
| 1-17            | 0,01                  | 0,29                  | 0,01-                 | 0,01-                 | 1-72                  | 0,56       | 10-72           |
|                 | 1,10                  |                       | 0,07                  | 0,33                  |                       |            |                 |

comparadas con los mios (ver lista de datos fisico-químicos de estaciones 2, 5 y 6) están bastante acordes.

#### D) *Paraleptophlebia*.

Dada su escasa representación diré que exhibe como *Habroleptoides* una adaptación morfológica que la hace poseer una forma estrecha y alargada, con lo cual es lícito suponer que ocupa los mismos hábitats que ésta. Su espectro ecológico en lo que a distribución se refiere parece que queda limitado entre las estaciones 2 y 3. También los resultados dados por el compendio de bioen-

sayos de autores americanos recogidos por Rodack:

| <u>Fe</u>             | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>DO</u>             | <u>Dureza</u>   | <u>Ca</u> | <u>Mg</u> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------|-----------|
| 0.5-0.7               | 5.5-5.6               | 4-6                   | 6-8                   | 3-5                   | 11-16           | 3-4       | 1-2       |
| <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>Turbidez</u> |           |           |
| 0.10-0.12             | --                    | 0.01-0.02             | 0.1-0.2               | 12-20                 | 59-106 (ppm)    |           |           |

están bastante acorde con los obtenidos en el río, y si-  
tuan a estos organismos como propios de aguas ácidas,  
estenohalinas y bastante turbias por arrastres húmicos  
que pueden incluso hacer bajar los niveles de oxígeno  
disuelto.

#### E) Caenidae

En el Sistema están presentes dos géneros de Caenidae,  
"Caenis" y "Brachycercus". Estando Caenis (posiblemente  
Caenis moesta) distribuída aguas más arriba que Brachy-  
cercus, pudiendo influenciar esta distribución, entre o-  
tros factores, sin lugar a dudas, el tamaño del sedimen-  
to depositado.

Lo característico de los Caenidos, es que son efémeras  
de "madriguera" que seleccionan áreas para vivir donde  
la corriente es tolerable y necesitan someterse a un mo-  
vimiento de desplazamiento hacia el centro o hacia la o-  
rilla para mantener este tipo de corriente cuando el cau-  
dal varía. Son detritívoras y la corriente les trae el  
alimento.

Como la mayoría de las larvas de Efemerias, con sus bran-  
quias crean una corriente de agua que les ayuda a respi-  
rar; sin embargo los Caenidos presentan una singular mo-  
dificación pues tienen reducido el primer par de bran-  
quias, formando el 2º una especie de opérculo que se dis-

pone sobre los otros pares que quedan insertos como las páginas de un libro. La disposición dorsal de estas branquias y la forma en que las baten (por fases) les permite vivir en substratos con barro, así como mantener al mismo tiempo un lado de su abdomen totalmente "limpio". Se debe suponer que aparte del opérculo que actúa como una muralla y protege frente a cualquier tipo de daño ocasional, las branquias son especialmente finas y frágiles.

Aparte de esta característica, debo señalar también que Caenis parece que tiene los huevos adaptados para resistir altas temperaturas.

En cuanto a bioensayos, para Caenis están bastante acorde con lo encontrado (estación nº 4)

| <u>Fe</u>             | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>             | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u>     | <u>Mg</u> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|-----------|
| 0,01-0,67             | 5,4-8,7               | 3-220                 | 5-72                  | 2-14                  | 6-705         | 2-220         | 1-43      |
| <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u>    | <u>Turbi.</u> |           |
| 0,01-0,34             | 0,03-1,18             | 0,01-0,04             | 0,01-0,87             | 1-450                 | 0,4-75        | 3-72          |           |

Pero en cuanto a Brachycercus sp. los bioensayos dan valores de:

| <u>Fe</u>             | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>  | <u>Dureza</u>   | <u>Ca</u> | <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------------|
| 0,01                  | 8                     | 97                    | 11                    | 6-12       | 124             | 35        | 9         | 0,01                  |
| <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u> | <u>Turbidez</u> |           |           |                       |
| --                    | 0,01                  | 0,04                  | 32,7                  | 3,8        | 34              |           |           |                       |

lo que realmente no está de acuerdo con los obtenidos en el Sistema, en el cual Brachycercus sp. es una de las especies más resistentes a la contaminación de tipo completo y está estrechamente asociada a sedimento fino y a-



guas eurihalinas. Así que parece evidente que no se trata de la misma especie (en las claves sobre la familia Ceanidae se distingue a Caenis de Brachycercus en que el 1º no presenta ningún tipo de ocelos, mientras que Brachycercus presenta 3; la especie existente que yo he llamado Brachycercus solo presenta 2, pudiendo tal vez tratarse incluso de otro género, no descrito en ninguna de las claves por mí utilizadas).

#### F) Baetidae.

Los Baetidae están representados en el Sistema por "Baetis spp", "Baetis rhodani", "Centroptilum luteolum", "Cleon sp" y "Ameletus sp". Una mirada a la gráfica de resultados nos informa que Baetis spp y Baetis rhodani están ampliamente distribuídas por todo el sistema, lo que nos señala que estamos frente a un género que podría mos considerar como generalmente "euri" y que es capaz de colonizar los más variados substratos.

#### Centroptilum luteolum

Presenta una distribución muy limitada en el Sistema (estación nº 6) pareciendo estar estrechamente asociada a las plantas emergentes. Esta distribución puede explicarse fácilmente, pues parece que esta especie necesita altos niveles constantes de oxígeno disuelto, una  $DBO_5$  menor que 4 ppm y al mismo tiempo un agua con la suficiente conductividad para permitir el crecimiento de las macrofitas a las que aparece asociado. Aguas abajo de la estación nº 6, los vertidos de Guadalajara al disminuir drásticamente los niveles de O.D. impiden su extensión y aguas arriba, la conductividad escasa y la fuerza de

la corriente, no permiten el suficiente desarrollo de macrofitas que parece necesitar esta especie para medrar, por lo que por fuerza queda allí acantonada. Los datos suministrados por los bioensayos

| Fe        | Ph   | Alcalinidad | Cl    | OD   | Dureza | Ca | Mg |
|-----------|------|-------------|-------|------|--------|----|----|
| 0,01-0,02 | 6-88 | 2-74        | 27-34 | 9-10 | 70-117 | 37 | 6  |

| NH <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> | PO <sub>4</sub> | SO <sub>4</sub> | DBO | Turbidez |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----------|
| <0,01           | -               | <0,01           | 0,01-0,12       | 25-45           | 1,7 | 18-39    |

están bastante de acuerdo con los obtenidos en la estación nº 6.

#### Baetis spp.

Presentan una forma fusiforme perfecta para ofrecer la menor resistencia al paso de los fluidos, lo que seguramente contribuye a que sean en cuanto abundancia, las más numerosas de todas las efémeras del sistema. Se trata de organismos tremendamente plásticos que igual se yerguen sobre sus patas dejando colgar su abdomen libre en el agua, ó nadan activamente, incluso contracorriente, con sus tres cercos caudales desplegados, ó descansando con los cercos juntos y empujados por la corriente, ó incluso cuando la corriente es demasiado fuerte pueden hundir su cuerpo de tal modo que su parte ventral toca el substrato pudiendo de esta manera zambullirse dentro de los límites de su lecho. Esta gran ubicuidad y su elevado número hace que los Baetis sean el blanco preferido de casi todos los depredadores, incluyendo Tricópteros, Plecópteros y Peces.

Una característica de los Baetis, es que tienen las bran

quias inmóviles por lo que necesitan de la existencia de una cierta corriente para poder respirar; su falta de mecanismos para asirse los suple con su gran capacidad como nadadores. Si las intentamos relacionar con la velocidad de la corriente y volvemos a los estudios ya citados de Dorier y Ditman, tenemos que decir que el 2º da como velocidad máxima que pueden resistir 84 cm/sq y el 1º, 177 y 102 como velocidad máxima que pueden remontar contracorriente. También se relacionan directamente la velocidad respiratoria con la velocidad de la corriente y con el descenso del umbral de O.D. necesario para la supervivencia.

A nivel de las Efémeras, son de las que tienen un mayor coeficiente de Drift y también presentan un movimiento hacia las orillas para emerger. En cuanto a su ciclo vital, la mayoría de las especies son univoltinas, aunque algunas son bivoltinas, pareciendo estar relacionada esta condición como una respuesta a condiciones térmicas excesivamente favorables.

Presentan también como adaptación Diapausa en los huevos, que son previamente ovoposicionados en las piedras dentro del agua. Con relación a *Baetis rhodani* parece que temperaturas altas retrasan su desarrollo y esta especie en particular parece extremadamente resistente a contaminación de tipo orgánico superado niveles de  $DBO_5$  mayores de 12 ppm.

Con relación a los últimos baétidos presentes en el Sistema "Cleon" y "Ameletus", reseñaré que ya son propios de aguas lentas, que en cuanto a abundancia son bastan-

te escasos, debido fundamentalmente a problemas de contaminación compleja y que tal vez desde el punto de vista ecológico merezca sólo la pena reseñar que Ameletus presenta jóvenes tanto en Otoño como en Primavera sin que exista una generación de adultos de por medio, lo que parece sugerir que la eclosión de los huevos puede no producirse durante la época fría, aunque las ninfas si sean capaces de desarrollarse durante este período, con lo cual el resultado final es el que una especie univoltina presenta dos picos de eclosión anuales como si de una bivoltina se tratase.

#### G) Rhithrogena.

Como su nombre indica, es un organismo típico de rhithron. Enseguida destaca su forma plana que constituye, como en Ecdionurus, una clara adaptación a la corriente, en este caso más sofisticada, pues por otra parte, sus branquias delanteras se ensanchan mucho y se continúan ventralmente, con lo que estos organismos pueden incrementar el área de contacto marginal reduciendo la posibilidad de que fluya el agua debajo de la ninfa y funcionando por tanto este diseño como un mecanismo de agarre, que en lugar de ser tipo ventosa, lo es por incremento del coeficiente de fricción.

En el Sistema encontramos 2 especies de Rhithrogena, una distribuída desde la estación nº 2 hasta la 6 (R. semicolorata (?)) y otra más obscura con los ojos más grandes (R. dodssi (?)) distribuída entre las estaciones 5 y 6. Ambas viven bajo las piedras batidas por la corriente y

al igual que Ecdyonurus comen frente a la corriente, diferenciándose de este último, en que se ayudan con el palpo maxilar, que provisto de vigorosas cerdas sobre su superficie inferior, les sirve para "cepillar" las algas que van a devorar. Hartland-Rowe (1.964) sugiere que el adulto de Rhithrogena tiene requerimientos especiales para la ovoposición, no pudiendo medrar en las zonas del río donde abunda la sombra, tal vez esto nos ayude a explicarnos el porqué en la estación nº 5 y en la nº 6 sean más abundantes que en la 3, que está cubierta por una frondosa aliseda.

Por los especímenes encontrados en el sistema, Rhithrogena es univoltina y presenta ruptura irregular de los huevos, experimentando un significativo desarrollo durante las frías aguas del invierno y pareciendo que migra hacia aguas abajo a medida que crece. En la estación 3 he observado que Polycelis se alimenta de ella. Su espectro ecológico parece bastante similar al de Ecdyonurus, siendo tal vez algo más esteno con relación a la OBO<sub>5</sub>.

H) Potamanthus luteus.

Esta especie sólo ha sido capturada en la estación nº 6, debajo de las piedras donde la corriente es moderada, sugiriendo esto que posiblemente la velocidad de la corriente sea un factor limitante que explique su ausencia en las 5 primeras estaciones. Por otra parte, es una especie que tiene el período de vuelo más tardío, por lo que en verano es una de las especies de efémera más abundantes en la estación. Los bioensayos recogidos por Roback dan

los siguientes datos:

| <u>Fe</u> | <u>Ph</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>DO</u>             | <u>Dureza</u>         | <u>Ca</u>  |            |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------|
| 0'01-0'51 | 76-84                 | 73-124                | 1-28                  | 6-14                  | 95-162                | 25-49      |            |
| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>OBR</u> | <u>TUr</u> |
| 6-17      | 0'01-0'97             | 0'44                  | 0'01-0'05             | 0'02-0'48             | 7-73                  | 1-6        | 11-75      |

lo que sí está de acuerdo con los datos obtenidos en la estación nº 6. Constituyendo el vertido de Guadalajara el factor que las limita aguas abajo.

#### 1) Oligoneurella.

Entre las estaciones 5 y 6 son muy abundantes y ello tal vez sea debido por una parte a que tienen un período de vuelo posterior a Baetis, con lo cual la competencia con este género se ve reducida en cuando Baetis se hace adulto y por otra parte, el que a diferencia de otros efemérotos posibles competidores, Oligoneurella presenta una especie de frondoso cepillo de pelos en las patas delanteras que le sirve para recoger filtrando el alimento en suspensión que le trae la corriente. Por si esto fuera poco, parece que el "cepillo" también le puede servir para "raspar" las algas bénticas y así alimentarse de ellas. Los dos factores que parecen explicar su distribución son la velocidad de la corriente y la temperatura, ya que parece necesitar del calor de parte del verano para poder desarrollarse. A sus branquias reducidamente peculiares supongo que es a lo que deben su nombre. Como curiosidad, extraída de la bibliografía, el adulto tiene aún una vida más efímera que la mayoría de las Efémeras, aprovechándolo al máximo, pues no pierde tiempo en des-

prenderse de la exubia en el agua, sino que lo hace en pleno vuelo, en una muda que no incluye las alas. También está descrito que tampoco aterrizan nunca una vez que emergen, cayendo exhaustos después de la ovoposición en el agua. El vertido de Guadalajara, con lo que ello significa físico-químicamente, es suficiente para impedir su distribución aguas abajo.

### 3) Ephemerella.

En el Sistema he capturado dos especies de Ephemerella E. ignita (?) y E. inermis (?) (una con tres ocelos anteriores y otra con dos internos junto a los ojos) que ocupan aparentemente el mismo hábitat en la estación nº 6, siendo su diferencia en tamaño un indicio de que para limitar la competencia tienen su período de vuelo separado en el tiempo, siendo la que emerge antes la que se encuentra distribuida más abundantemente aguas arriba. En ambos casos, se trata de especies de verano y sus huevos comienzan a romper a mediados del mes de Mayo, sufriendo un crecimiento muy rápido para producir los adultos al final del verano. Parece pues que es la temperatura una vez más el factor que reduce la competencia y les permite vivir cuando la mayoría de los otros efemerópteros ya han salido volando del Sistema. La presencia de espinas dorsales sobre el abdomen parece sugerir que pudiera tratarse de un mecanismo para fijarse sobre las macrófitas, hacia las que tienden a aproximarse los ejemplares mayores (lo que puede indicar el que tengan migración hacia la orilla para emerger). También el vertido de Guadalaja

ra es suficiente para impedirles su distribución aguas  
abajo.



b) Tricópteros

En general, tanto los tricópteros con vaina como los sin vaina, están considerados como seres de aguas limpias, y así su presencia en los primitivos sistemas de calidad biológica, como el de los Saprobios, era indicadora de aguas limpias y claras.

Las larvas de tricópteros constituyen, por lo menos en cuanto a lo que sistemática se refiere, uno de los campos casi vírgenes que existen en nuestro país, lo que aumenta la dificultad de su estudio.

Tratándose como son, de seres bastante abundantes por un lado y lo suficientemente diversos por el otro, cubren una amplia gama de nichos ecológicos, ocupando distintos eslabones en las redes tróficas, lo que hace obligado su estudio en profundidad si de verdad se pretende un análisis serio del ecosistema fluvial.

Las larvas de tricópteros halladas e identificadas en el Sistema se expresan en la siguiente tabla:

| TRICOPTEROS           | Estaciones |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|-----------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
|                       | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Plectonemia comparsa  | —          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Ithytrichia lamelaris | —          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Limnephilus sp.       | —          |   | — |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Leptocerus sp.        | —          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Anabolia sp.          | —          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Brachycentrus sp.     | —          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cheumatopsyche sp.    |            |   | — |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Chimarra sp.          |            |   | — |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Hidropsyche spp.      |            |   | — |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

#### Caracteres generales.

Las larvas de tricóptero van a presentar toda una gama de caracteres ecológicos más generales entre los que destacamos, el que su ciclo vital comienza cuando la hembra de los sin vaina entre en el agua y deposita sus huevos, ó cuando la hembra de los con vaina los pone formando con ellos una masa que sujeta a la punta de su abdomen, que luego atará a piedras sumergidas, maderas o troncos ó a vegetación. La mayoría de los huevos eclosionan en-

tre los 10 y 24 días que siguen a la puesta, presentando algunas especies el fenómeno de diapausa en los huevos durante el invierno. Las larvas suelen sufrir 5 ó 6 mudas hasta llegar a pupas. Normalmente la pupación tiene lugar bajo el agua. Los tricópteros sin vaina construyen una especie de madriguera con seda; los con vaina anclan ésta a un soporte y son capaces de cerar la "puerta" permaneciendo la pupa en el interior durante unas 2 ó 3 semanas, tras este período abandonan la vaina y nada hasta la superficie incorporándose a un substrato firme desde donde emerge en forma de adulto. La mayoría son univoltinos y su período de emergencia suele situarse entre Mayo y Octubre.

Desde el punto de vista de dónde viven, pueblan los más variados hábitats, pareciendo que su principal factor limitante pueden constituirlo en aquellos parajes en los que los sólidos en suspensión son demasiado abundantes y existe peligro de que precipiten enterrándolos.

En cuanto a alimentación, la mayoría son diversívoros, predominando entre los constructores de redes las formas que se nutren de plancton y detritus y pequeños organismos aportados por el drift, y entre los fitófagos de desarrolla incluso el canibalismo.

La respiración se realiza ó bien cutáneamente o bien mediante branquias. Los constructores de redes necesitan vivir donde exista cierta corriente que les traiga el alimento, mientras que los con vaina, parecen menos reo-dependientes ya que pueden renovar el oxígeno de alrededor de las branquias gracias a ondulaciones de su abdo-

men que les permite crear una corriente dentro de la vaina. Hipoteticamente pues, parece que los que utilizan red pueden aguantar una  $DBO_5$  mayor que los que no la utilizan. Algunos autores (Roos, 1.957) dicen que en los adultos de los Tricópteros reofilicos, predomina la dirección de vuelo aguas arriba, como forma de compensar el drift inducido por las fuertes corrientes. Algunos de ellos son lucífugos y crepusculares.

Caracteres distintivos:

*Plectonemia* sp. (Polycentropidae)

En el sistema su distribución parece limitada a la zona de hidromorfas calizas cercana a Galve. Esta larva se caracteriza por construir redes en forma de saco ((5-10) x (4-5)  $cm^2$ ) durante todo el año. Es especialmente abundante entre las raíces de Masturtium officinalis y es un gran depredador de efemerópteros, en particular Baetis. La experiencia nos muestra que las larvas mayores abandonan los berros y suelen encontrarse bajo las piedras tendiendo las redes. Entre los de menor tamaño (más jóvenes) hemos encontrado casos de canibalismo. La gran variabilidad en tamaños que encontramos en una misma estación sugiere que *Plectonemia* comparsa es una especie que está constantemente presente en el sistema y que a lo largo de casi todo el año es fácil encontrar larvas, ninfas, preimagos e imagos. Tal vez sean el O.D., la conductividad y el  $Ca^{++}$  los factores que jueguen junto con el flujo el papel limitante para esta especie.

*Ithytrichia* (Hidroptilidae)

En el Sistema también muy limitada su distribución, parece asociada a aguas ricas en Calcio, a musgos y a piedras hundidas en el fondo.

#### Limnephilus (Limnephilidae)

Se encuentra más abundantemente sobre las piedras de mayor tamaño. Parece nutrirse de los debris (restos de materia orgánica vegetal) y de los seres que viven sobre ellos. Por la diferencia de tamaños encontrados parece que la ovoposición debe tener lugar en la orilla del agua, migrando posteriormente la larva hacia las piedras mayores. El conjunto de bioensayos realizados en el mundo con Limnephilus suministran un espectro ecológico tal que:

| <u>Fe</u>             | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>             | <u>Dureza</u>          | <u>Ca</u>   | <u>Mg</u> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------|-----------|
| 0,02-0,1              | 6,4-8,5               | 9-97                  | 1-22                  | 9-12                  | 6-164                  | 2-47        | 1-11      |
| <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Tur.</u> |           |
| 0,01-0,16             | 0,03                  | <0,01                 | 0,01-0,03             | 2,4-24                | 0,6-2,8                | 5-19        |           |

resultados bastante acordes con los encontrados en la estación nº 1.

#### Anabolia (Limnephilidae)

Lo característico de este género es su vaina, en la cual incorporan palos bastante largos. La significación de esto es que posiblemente los palos juegan la misma función que los largos cercos caudales de muchos efemerópteros (órganos de estabilidad en la corriente). Suele vivir en la parte más retirada de la corriente, cercano

a la orilla, anclada sobre las piedras ricas en debris. Como en el caso de Limnephilus parece que la ovoposición tiene lugar en la orilla del agua.

Tal vez llama la atención la gran diversidad de Tricópteros encontrados en la primera estación del sistema; a ello sin lugar a dudas contribuye una serie de factores excepcionales como son por un lado la existencia permanente de unos niveles altos de oxígeno disuelto, por otro lado al tratarse de aguas calizas que discurren sobre pastizales ricos en vacuno, existe la suficiente cantidad de sales para que prosperen algas y macrófitas y que éstas dan la suficiente energía (materia orgánica alóctona) en forma de alimento para sostener una comunidad tan variada. Finalmente en la estación nº 1 los depredadores existentes (sólo planarias, puesto que no existen p. ej. ni peces ni plecópteros grandes) son bastante poco abundantes con relación a la gran variedad de comida potencial disponible.

*Cheumatopsyche* (Hydropsychidae).

Es más abundante aguas abajo de remansos ó pantanos, lo que parece sugerir que su principal tipo de alimentación pudieran constituirlo los seres arrancados por drift a las aguas calmas (fundamentalmente plancton). Algo que también parece sugerir que su alimentación favorita, sino única, la constituyen las comunidades de algas y toda la microfauna asociada a ella, es su mayor abundancia en las partes de la estación en las que no da la sombra y que por tanto existe luz permanentemente durante todo el día.

La franja que define su espectro ecológico en el conjunto de bioensayos nos da:

| <u>Fe</u>       | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>             | <u>Dureza</u>         | <u>Ca</u>  |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| 0,02-2'9        | 6-8,5                 | 2-180                 | 1-845                 | 6-14                  | 6-800                 | 2-398      |
| <u>Mg</u>       | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u> |
| 1-36            | 0,01-5                | 0,12-2,30             | 0,01-0,09             | 0,01-0,56             | 23-370                | 0,3-7,5    |
| <u>Turbidez</u> |                       |                       |                       |                       |                       |            |

4-72

Datos bastante acordes con los obtenidos en la estación nº 3.

Realmente sorprende su escasa extensión longitudinal, que debe explicarse como un problema de competencia con otras especies por las fuentes de alimentación, pues no parece existir ningún factor físico-químico que le impidiera extenderse aguas abajo hasta la estación nº 6.

Chimarra (Philopotamidae).

La larva de este tricóptero es muy característica debido al borde frontal asimétrico de su cabeza. En aguas rápidas construye túneles de seda bajo las piedras. Bioensayos realizados con Chimarra obscura recogidos por Selwin S. Roback dan los siguientes valores:

| <u>Fe</u> | <u>Ph</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>DO</u>             | <u>Dureza</u>          | <u>Ca</u>    |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| 0,01-0'5  | 76-83                 | 97-175                | 9-21                  | 6-14                  | 124-600                | 35-180       |
| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Turb.</u> |
| 9-36      | 001-097               | 001-002               | 001-062               | 23-25                 | 0,5-2,1                | 4-125        |

los cuales están bastante acordes con los obtenidos en las estaciones 3, 4 y 5.

Posiblemente su distribución en el sistema venga determi

nada a que por un lado esta especie reófila, seleccione una determinada velocidad de la corriente y por otro parece que prefiere temperaturas no demasiado frías, encontrando ambas condiciones, junto con una  $DBO_5$  no muy elevada en el tramo inferior del río Sorbe.

#### Hydropsyche (Hydropsychidae).

Estamos sin duda frente al Tricóptero diversívoro más abundante y por lo tanto mas euri de todo el Sistema. Como en el caso de *Plectonemia* en el Henares encontramos en un mismo tiempo y en una misma estación larvas y ninfas, sin embargo a lo largo del Sorbe estas diferencias en edad y tamaño son mucho menores. Así encontramos la siguiente paradoja: en Marzo desaparecen los *Hydropsyche* en el Sorbe (emergen a adultos) mientras que en Mayo lo hacen en Alcalá, lo cual parece estar de acuerdo con la observación de Le Roi (1.913) el cual constató que se producen eclosiones masivas más precoces a nivel de los sectores superiores que en los inferiores; lo cual parece contravenir la regla de Descamps (1.967) que postula que a medida que la altitud aumenta las fechas de eclosión son más tardías. Es un animal reófilo y dependiendo de la temporada produce o no un tipo de red más ó menos circular con un tamaño de poro adaptado a sus partes bucales. Parece que, a diferencia de otros tricópteros, la hembra es capaz de estar en el agua y poner los huevos en la parte de abajo de las piedras. A veces en el sistema hemos encontrado un auténtico "boom" de *Hydropsyche* (ej: a primeros de Marzo en la estación nº 6) relacionando posible-



mente esto con un aumento de la materia orgánica de origen vegetal. En el sistema existen varias especies de Hydropsyche, algunas de las cuales construyen vainas con piedrecitas, siendo segura una de ellas H. instabilis y pudiendo tratarse las de Chiloeches de H. borealis, H. pellicidula ó H. siltalia que prosperan aguas abajo de aportes de materia orgánica.

A nivel de bioensayos los datos suministrados:

| <u>Fe</u> | <u>pH</u> | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u> | <u>OD</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> |
|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 001-18    | 75-88     | 61-205             | 8-2630    | 8-11      | 114-2100      | 49-865    |

| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Turb.</u> |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| 12-27     | 001-58                | 003-23                | 001-005               | 001-072               | 13-450                | 07-53                  | 3-110        |

las cuales, a grosso modo, salvo que en la realidad el caso del O.D., el límite inferior es bastante más bajo (6 mg/l) y en la DBO<sub>5</sub> más alto el superior ( $\approx 8$  ppm), coinciden bien con los encontrados en el sistema.

c) Plecópteros.

Son los organismos a los que casi unánimemente todos los índices bióticos confieren la máxima valencia saprófuga, es decir los consideran como los organismos cuya presencia indica un agua de máxima calidad.

En las estaciones del sistema, hemos encontrado muy poca variedad de Plecópteros y sin lugar a dudas, posiblemente puedan existir algunos más en la zona comprendida entre la entrada del Sorbe en terrenos silíceos por debajo de la estación nº 1 y la desembocadura del río Lillas (por encima de la estación nº 2.) A partir de aquí los fuertes arrastres húmicos posiblemente contribuyan a mermar su supervivencia y esto explique el que no los encontremos en la estación nº 2. La regulación de caudal que realiza el Embalse del Pozo de los Ramos, junto con el papel de deposición de sólidos en suspensión que tiene allí lugar, posibilita el que a partir de la estación nº 3 pueda encontrárseles exhuberantes.

|              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Perlodes sp. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Perla sp.    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Nemoura spp. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Caracteres generales.

Las hembras ponen los huevos en el agua y estos tardan en eclosionar según la especie y las condiciones ambien-

tales (de 2 semanas hasta 3 meses). Las larvas sufren hasta ser adultos alrededor de 22 ó 23 mudas. La mayor parte de ellas son univoltinas, pero algunas tienen 2 ó 3 ciclos anuales.

La temperatura juega un papel muy importante en el desarrollo de las ninfas, pareciendo que para un gran número de especies las aguas cálidas aceleran este desarrollo y las frías lo retardan. El período de emergencia varía según la especie. En general se los considera como fauna de tipo precoz o primaveral por el tipo de período de vuelo.

La mayoría vive en las aguas corrientes bajo las piedras y exhiben habitats alimenticios bastante variados pudiéndose considerar como regla general que las perlas pequeñas son herbívoras ó detritívoras, mientras que las grandes son carnívoras. Las larvas de los plecópteros respiran cutáneamente ó mediante branquias traqueales. En general se les caracteriza como seres reobiontes, psicrostenotermos y polioxiestenobiontes.

#### Caracteres distintivos:

. Perlodes sp.

Es en tamaño el plecóptero mayor que existe en el Sistema. Está presente en las corrientes de agua debajo de las piedras y las jóvenes llegan ya a medir 30 mm. de largo. Parece que exhibe el fenómeno de diapausa en los huevos, pudiéndose prolongar su eclosión hasta los 4 meses. Su color oscuro podría tratarse de una doble adaptación, por un lado al substrato (mimetismo) -recordemos que allí

donde está distribuída abundan las pizarras oscuras- y por otra parte a la temperatura, ya que el color negro absorbe todas las radiaciones. Su distribución parece es tar relacionada con que selecciona una cierta altitud, de tal modo que dos factores que para él son limitantes puedan converger: por un lado un alto contenido en oxíge no disuelto (8-9 mg/l OD) y por otro una temperatura no demasiado fría (pese a tratarse de un organismo psicró- filo) siendo un 3º factor que parece tambien limitante la dureza. Bioensayos realizados implantándolos en esta- ciones aguas abajo (estaciones 5, 6 y 7) y en el laborato rio con aguas de cada una de esas estaciones jugando con diversas variables (OD, Temperatura etc.) parecen indicar la responsabilidad de este último parámetro. El que ade- más Perlodes sea depredador, es decir que ocupe uno de los lugares elevados de las redes tróficas, le hacen es- pecialmente valiosos como indicador, pues su presencia o ausencia no depende sólo de lo que a él le afecte direc- tamente, sino tambien de que los eslabones inferiores no estén afectados. Todo ello hace que Perlodes haya sido seleccionado como bioindicador de calidad de Metarhithron (No trato esto aquí, pues como en el caso de Ecdyonurus y de otros más, este aspecto fué desarrollado por Torta- jada y por mí en las III Jornadas Nacionales de Ciencias Hidrológicas -Abril, 1.979 y allí remito a los interesa- dos). En el sistema la mayoría de los Perlodes tienen un período de vuelo a finales de Julio, dandose la paradoja que este último año a finales de Noviembre (verano pro- longado) las ninfas estaban otra vez a punto de emerger

y antes que pensar en que la temperatura pudiera hacer bivoltina a esta especie, creo que más bien la diapausa en los huevos, haciendo su eclosión irregular, es la responsable de la aparición de estos dos picos.

#### . Perla

Ocupa en el sistema la misma franja que Perlodes y parece que su ecología es bastante similar, por lo que es lícito pensar que pudiera existir competencia entre ambos, competencia que si a la abundancia relativa nos referimos, parece estar inclinada a favor de Perlodes. Tal vez la existencia de Perla constituya un factor regulador en esa parte del ecosistema que asegure que el nicho quede siempre cubierto, pues si realmente son ciertas para el Sistema las observaciones de Hynes (1.941) según las variaciones de la temperatura del agua un año u otro podría prevalecer una u otra (Recordaré que Hynes señala una estrecha dependencia del desarrollo de ciertas especies del género Perla con la temperatura, y así señalaba que podrían tardar hasta tres años en madurar, así los huevos eclosionarían en Otoño, cuando comenzaran a caer las temperaturas, crecerían durante el invierno y primavera, y cuando de nuevo en verano llegaran las temperaturas altas, serían capaces de regular su metabolismo adaptándose a ellas, y así el año siguiente y el siguiente en el que emergerían cuando la temperatura volviera a subir de nuevo). De todas formas, en el Sistema, tal vez por adaptación, los Pérlidos mayores son carnívoros, los más jóvenes son detritívoros. Perla y Perlodes no coinciden en

el tiempo en sus períodos de vuelo. Por lo que hemos observado, parece que Perla selecciona Simulium, larvas verdes de Quironómidos y Baetis como alimento, mientras que Perlodes come además como plato preferido Hydropsyche.

. Nemoura.

Es la más ampliamente distribuida de todos los plecóp-  
teros del Sistema y por lo tanto ecológicamente la más euri.  
Aparece asociada a fondos donde predominan detritus vege-  
tales y depósitos orgánicos finos de poco espesor y carác-  
ter húmico, por lo que parece que, a diferencia de las  
anteriores que eran depredadores, este género es detrití-  
voro. En el Sistema están presentes 2 especies de Nemou-  
ra (posiblemente N. cinerea en el Sorbe y N. cambria en  
las aguas más duras del Henares) que llegan a coexistir  
juntas entre las estaciones nº 5 y 6, pero que emergen  
en distinto período de tiempo con lo que sus diversos es-  
tados de desarrollo ven así mitigada la competencia. I-  
llies (1.952) sugirió que los machos de Nemoura emergían  
antes que las hembras con lo cual se asegura el aisla-  
miento reproductivo incluso en aquellas especies cuyos  
períodos de emergencia solapan. Este extremo, por lo que  
yo he visto, parece que no se cumple en el Sistema. Una  
vez puestos los huevos, éstos tardan en romper entre 2 y  
4 semanas y las larvas llegan a sufrir una verdadera dia-  
pauza invernal, cesando su muda en invierno a diferencia  
de otros plecóp-teros, esto indica que puede ser muy bien  
la temperatura uno de los factores más importantes para

explicar su distribución, y que a diferencia de los dos géneros anteriores, Nemoura no tiene el valor indicador de calidad que normalmente se les atribuye a los Plecópteros, e incluso lo que indica es un cierto enriquecimiento de materia orgánica en el agua.

A nivel de bioensayos las franjas recogidas de los autores americanos para Nemoura sp.:

| <u>Fe</u> | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>  | <u>Dureza</u>   | <u>Ca</u> |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------|-----------|
| 011-016   | 6,7-6,9               | 18-20                 | 2-3                   | 10-11      | 9-12            | 2-3       |
| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u> | <u>Turbidez</u> |           |
| 1         | 0,02-0,05             | 0,01                  | 2 5                   | 0,8-1,1    | 110-140         |           |

Datos que en nada concuerdan con los obtenidos en el Sistema en las estaciones 3,4,5 y 6, lo que hace pensar que existe gran variabilidad en el espectro ecológico en las distintas especies de Nemoura. Verneaux (1.977) habla de Nemoura cinerea, N. marginata y N. avicularis como especies de Nemouridae que toleran un cierto aumento en la cantidad de materia orgánica.

d) Odonatos.

Los ecólogos franceses (Verneaux, Tuffery) sitúan a los Odonatos, junto con los Gammaridos y Moluscos, como indicadores de un valor de calidad del agua que oscila entre 3 y 7, según el número de unidades sistemáticas acompañantes presentes. Desde lo que es mi experiencia, y siempre teniendo en cuenta que el valor indicativo de los diversos grupos faunísticos es sólo a nivel general y que en cada región hay que ver cuales son los seres de ese grupo que realmente responden a ese valor y cuales no, debo decir que no creo en el valor indicativo como tal de los Odonatos.

|                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Neurocordulia sp   |   |   |   |   |   | — |   |   |   |    |    |    |    |
| Aesnidae           |   |   |   |   |   | — |   |   |   |    |    |    |    |
| Isnhura elegans    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Lestes sp.         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Phyrrosoma ninfula |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Agrion sp.         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Hyponeura sp.      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Erythroma sp.      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Macromia sp.       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Caracteres generales:

Existe una gran variación según las especies en la forma y en el lugar de hacer la ovoposición (en el agua, en macrofitas etc.). Los huevos presentan también fenómenos



de diapausa relacionado con la temperatura, variando según las condiciones el tiempo que tardan en eclosionar entre los 13 y los 35 días. Existe también una gran variabilidad en cuanto al número de mudas (entre 10 y 20 o más) y en cuanto al tiempo de maduración hasta adultos (entre 36 días y 5 años), relacionándose este fenómeno con la temperatura y con otros factores. Para emerger, la ninfa sale a la superficie y selecciona un substrato apropiado.

Son seres depredadores y comen desde Protozoos hasta peces pequeños. Ello es posible gracias al labrum extensible (la "mascara") que poseen como característico, según su hábitat ó desarrollan las antenas ó desarrollan los ojos para detectar a sus presas, algunas las persiguen activamente, otras escondidas las cazan al pasar.

En Anisópteros la respiración es de tipo rectal, modificándose la superficie inerte foliar formando una especie de cesta y enriqueciéndose de traqueas. El agua entra en la "cesta" y es posteriormente expelida, sirviendo esta acción de bombeo también como forma de locomoción "a chorro". En los Zigópteros la respiración es caudal, para lo cual están provistos de 3 lamelas que con sus traqueas abastecen de oxígeno cuando el contenido de este gas es pobre en el hábitat. Naturalmente este mecanismo aunque importante es sólo complementario de un proceso mucho más complejo en el cual intervienen también el recto, la superficie del cuerpo y la funda de las alas, y así se explica que en hábitats bien oxigenados los Zigópteros puedan vivir sin necesidad de sus lamelas caudales.

#### Distribución en el Sistema:

La diferencia en la forma de respiración nos va a explicar el porqué los anisópteros del sistema están localizados en zonas donde los niveles de O.D. son mas altos, y el porqué los zigópteros son capaces de colonizar medios más deficientes en oxígeno.

Otro factor que parece influir mucho en la distribución de los Odonatos en el sistema, parece ser la existencia, junto con los niveles de O.D. requeridos, de una cierta conductividad que permita el desarrollo abundante de Macrofitas, que constituyen el sustrato eficaz para la mayoría de los zigópteros (recordemos que en el perifiton existe una fauna abundante y diversa que constituye una reserva alimenticia importante para estos depredadores). El tipo de sustrato es el 3º gran factor que influye y así los anisópteros encontrados en las estaciones 3, 4 y 5 (ricas en O.D.) están correlacionados con la granulometría del fondo, en este caso piedras (Neurocordulia) ó con las raíces junto a la orilla de la corriente (Aesniidae), y las encontradas en la estación 10 (Macromia) están correlacionados con la existencia de barro, al que necesitan para camuflarse enterrándose y así poder cazar sus piezas. El que Macromia no pueda extenderse aguas abajo está relacionado con la caída de O.D. que generan los vertidos de Alcalá.

Como regla general, los ecólogos han buscado una manera práctica de comprobar la supuesta reofilia de los Odonatos, y a grosso modo se ha pretendido la existencia de ciertas adaptaciones morfológicas basadas en el modo de

vida y en la forma de capturar sus presas, así se sugiere que los odonatos de corriente rápida tienen formas más aplanadas, y que en general los de aguas rápidas presentan antenas más largas y ojos más reducidos, mientras que los de aguas lentas desarrollan mucho los ojos y reducen las antenas. En honor a la verdad, debe señalarse que esto no siempre es cierto, aunque sí lo sea en algunos casos. A continuación pasaré a relatar algunas de las características de los dos géneros de Odonatos más abundantes en el Sistema: Agrion e Isnhura.

. Agrion sp. (= Calopterix)

Se le encuentra siempre asociado a las plantas, en particular le hemos encontrado en las más ricas en Alfidos, lo que hace suponer que estos crustáceos tal vez constituyan uno de sus platos preferidos. Presenta las típicas adaptaciones morfológicas de antenas y tarsos largos para detectar a sus presas y largas patas con garfios para asirse a las macrófitas. Las interesantes experiencias de Zahner (1.959) (el cual comprobó que si hacia decaer la velocidad de la corriente, la velocidad metabólica de Agrion descendía hasta un 60%, que incluso en aguas totalmente calmas y saturadas de oxígeno era incapaz de sobrevivir largo tiempo), nos ayudan a explicarnos, junto con los bioensayos lo restringido de su distribución en el Sistema. En efecto, el conjunto de bioensayos recogidos por Roback dan los siguientes valores:

| <u>pH</u> | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u> | <u>OD</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> |
|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 6-7,7     | 2- 40              | 1-69      | 4-10      | 6-323         | 2-84      |

| <u>Mg</u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Turbidez</u> |
|-----------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
| 1-27      | 0,05-4,92             | 0,05-248              | 0,6-7,9                | 50-72.000       |

encontrándose en el Sistema con pH, alcalinidad y dureza bastante superiores, siendo desde mi punto de vista significativo el O.D. y la DBO que explicarían el porqué sólo se encuentra entre las estaciones 9 y 11 del Sistema, en el tramo bajo del Henares. En principio no me explico el porqué no ha sido encontrado en la estación nº 5 donde potencialmente podría medrar. Con relación a la afirmación de varios autores de que los machos y las hembras de Agrion ovopositan en "tandem" y que los machos defienden su territorio poniendo siempre los huevos en a gua corriente, ésta no ha podido ser verificada, aunque debo señalar que la gran abundancia de comida disponible en ese tramo del río no parece que haya dado lugar a diversificaciones en territorios y así Agrion es capturado en el mismo sitio junto con otras especies pertenecientes a géneros bien diferentes. Parece que Agrion emerge como adulto (finales de Mayo) antes que los otros Odonatos.

. Isnhura sp. ( Coenagrionidae )

Es sin lugar a dudas, el Odonato más abundante en el Sistema, Es un organismo típico de aguas lentas con ojos grandes y antenas reducidas. El conjunto de bioensayos suministrados por Slack para Isnhura spp dan los siguientes datos:

| <u>pH</u> | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u> | <u>DO</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> |
|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 6,5-8,5   | 15-244             | 3-2.500   | 1-12      | 13-900        | 3-90      |

| <u>Mg</u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Turbidez</u> |
|-----------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
| 1-180     | 0,01-4,9              | 2,8-480               | 0,4-29                 | 6-72.000        |

que están bastante acordes con los obtenidos para las estaciones 7,8,9 y 10 y que es precisamente su resistencia a bajos niveles de O.D. y a altos niveles de DBO, lo que explica su mayor abundancia y su amplia distribución.

De todas formas los vertidos de Alcalá después del Zulema son suficientes para impedir el que los Odonatos puedan colonizar el río aguas abajo.

e) Dípteros.

En los distintos tipos de índices bióticos, algunos dípteros están considerados, en ausencia de grupos faunísticos que indican una mayor calidad, como indicadores de tal ó cual grado de calidad del agua, así p. ej. los ingleses (Trent Biotic Index) dan a los Simuliidae un valor comprendido entre 7 y 10, y los franceses (Vernaux) dan a Chironomus thummi valores entre 1 y 3 y a Eristalinae valores de 0 a 1, según el número de grupos faunísticos que les acompañen.

En el Sistema los dípteros están repartidos de la siguiente forma:

[illegible]

|            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Típula     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Tabanidae. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Como puede apreciarse, los Dípteros constituyen uno de los grupos más diversos, y en ciertas estaciones más abundantes, de los seres del Sistema. Esta gran diversidad hace que nos enfrentemos a unas formas de vida muy diferentes y que sea muy difícil generalizar a la hora de analizar su ecología. Por otra parte su ciclo de vida es bastante desconocido y aún su sistemática presenta serias dificultades, no existiendo siquiera buenas claves para intentar determinarlas.

En el Sistema predominan tanto en número como en extensión longitudinal dos grupos de Dípteros auténticamente acuáticos: Simuliidae y Chironomidae (Tanypodinae, Diamesinae, Ortocladiinae), estando los demás ó bien restringidos a un determinado tipo de hábitat, p. ej. Liponeura (Blepharoceridae) o Eristalis (Syrphidae), ó bien dependiendo más de la humedad y menos de la calidad del agua. Por ello vamos a considerar aquí sólo los caracteres distintivos de los más representativos del Sistema.

. *Simulium* spp.

La puesta de los huevos tiene lugar sobre vegetación flotante ó en piedras bajo el agua. La mayoría de las especies ovoposita en la orilla y la larva posteriormente tiene que migrar hacia su hábitat (sólo unas pocas espe-

cies ovopositan, como Ecdyonuridae, sobre el agua directamente, hundiendo la punta de su abdomen). Algunos huevos presentan diapausa, de tal forma que se sugiere que podrían existir hasta tres tipos distintos: los que eclosionan rápidamente, los que se desarrollan lentamente, pero cuando viene el calor lo hacen muy deprisa y por último, aquellos que estivan y presentan una verdadera diapausa independiente de la Temperatura. Todo ello configura el que encontremos sus larvas en todas las estaciones del año. Las larvas exhiben varias mudas (generalmente 6) de longitud variable y constituyen todo un modelo de adaptación a la corriente. Con sus glándulas salivares muy desarrolladas producen una seda con la que fabrican una red que aseguran al substrato y que tienden a la corriente, paseándose periódicamente por ella, en una especie de movimiento "a lo sanguijuela con dos ventosas" que aquí son garfios, sitos en las "patas" delantera y trasera, con las que se engancha a los poros. Si son molestada, ó la corriente deviene demasiado fuerte, vuelven hacia atrás y se atan con la "pata" trasera a su red de seda, reforzando su atadura al substrato. Por si esto fuera poco, en la cabeza tienen un par de estructuras que portan 2 órganos a modo de "abanico", uno amplio y otro accesorio, que les sirven para capturar partículas en suspensión. A medida que van siendo mayores, parece ser que aumenta su coeficiente de Drift, llegando a ser uno de los más altos de toda la fauna derivante; seleccionando principalmente lugares expuestos a la luz, ya que parece, que al menos las hembras son fototrópicas,



constituyendo esta característica un servicio a la reofilia. Su alimentación es diversívora, es decir que se comen en principio lo que arrastrado por el drift cae a la red, no sólo plancton sino también bacterias directamente. Algunos autores sugieren que *Simulium* es capaz de "raspar" las piedras para alimentarse de algas bénticas, protozoos y bacterias allí asociadas. La velocidad de la corriente va a ser pues un factor limitante desde el momento que es la encargada de proveer el alimento. Así parece que las distintas especies de Simúlidos se distribuyen longitudinalmente a lo largo del río seleccionando cada una una franja de velocidad. A nivel de bioensayos, existen ciertos desacuerdos entre los distintos autores así Wu (1.931) habla de la franja comprendida entre los 17 y los 84 cm/sq como límites y Phillipson (1.956) habla de que la mayoría de las especies de *Simulium* están en la franja de los 80 a los 90 cm/sq. En el Sistema, los datos obtenidos nos hablan de una franja comprendida entre los 121 y los 40 cm/sq, lo que parece estar más acorde con los datos de Phillipson y en concreto coinciden bastante con la franja que él da para *S. ornatum* (50 - 120 cm/sq). Las larvas de *Simulium* son capaces también de cambiar su posición a medida que varía la corriente y también durante las crecidas. Prosiguiendo su desarrollo, las larvas acaban envolviéndose en una vaina característica y se metamorfosean en pupas. Las pupas son inmóviles, por lo que el adulto tiene que emerger debajo del agua en una burbuja gaseosa que ha acumulado en la cutícula. El estado de pupa viene a durar entre 4 y 7 días.

Con relación a su período de vuelo Zahar (1.951) señala que las especies de aguas arriba son univoltinas, mientras que las de aguas abajo son bi, tri ó tetravoltinas, variando incluso una misma especie de uní a polivoltina, Esto sugiere que el otro factor esencial, aparte de la corriente, sería la temperatura, la cual sería en parte responsable del número de generaciones, existiendo una correlación positiva entre la elevación en grados y el número de generaciones anuales.

En el Sistema Simulium está permanentemente presente en las ocho primeras estaciones, lo que parece indicar que el único factor que determina su distribución, o al menos el principal, lo constituye la velocidad de la corriente, y que los sólidos en suspensión, que hipotéticamente podrían limitarlas por colmatar y romper sus redes, al menos aquí no juegan un papel esencial. Recordemos que el Henares es un río muy turbio cuando llueve, por efecto de la escorrentía generada sobre su ladera izquierda desprovista de vegetación; que en Fontanar (estación nº 6) se producen fenómenos de eutrofización en verano, con lo cual no parece del todo correcta la afirmación de Sommerman (1.955) de que las algas son capaces de "ahogar" a Simulium y que pese a los vertidos de Guadalajara, con la disminución de los niveles de oxígeno disuelto y el aumento de la  $DBO_5$  Simulium sigue resistiendo etc... con lo cual estamos sin lugar a dudas ante una especie "euri" cuyo principal factor limitante es la velocidad de la corriente, coadyudada con la temperatura como factor regulador, por lo tanto, desde mi perspectiva la valencia atri

buída a Simulium en los índices bióticos es gratuita y debe provenir de la observación superficial de la abundancia de Simulium allí donde hay corriente y por lo tanto buenos niveles de oxígeno disuelto debido a la turbulencia.

. Chironomidae.

Comprenden una gran variedad de familias con diferentes espectros ecológicos. Su sistemática no está aún a nivel mundial aclarada y no existen por lo tanto buenas claves para determinarlas precisamente. Dentro de ellos, he incluido Chironomidae, Orthocladinae, Diamesinae, Tanypodinae y Tanypodinae como lo hacen ciertos autores americanos. Dentro de este maremagnum intentaré aclarar la pauta más general y allí donde pueda descenderé hasta lo particular.

Parece establecido que ponen los huevos en grandes masas (más de 2.000). (En el caso de Ch. thummi, el más abundante en los lugares más contaminados del sistema, se pueden reconocer por el dibujo rojo en forma de muelle que destaca sobre fondo blanco). Los huevos eclosionan en función de la temperatura, dándose como límites los 3 y los 17 días. La larva va a atravesar 4 estadios diferentes, durando los tres primeros entre 5 y 10 días cada uno de ellos y el último entre 4 y 21 días, también dependiendo de la temperatura. Las larvas derivan hasta donde les interesa vivir, cubriendo todos los hábitats imaginables (detritus, lodos, vegetales, lemna etc.). Las que viven en el barro (p. ej. Chironomus spp) construyen tu-

bos en forma de U con dos aberturas en la superficie del barro. Ondulando su cuerpo rítmicamente organizan una corriente dentro del tubo que le porta oxígeno y plancton. Este alimento es filtrado en una red, saliendo los residuos impulsados por la corriente por el lado contrario por donde entraron. En el caso concreto de Ch. thummi, el que más valor tiene como indicador de contaminación orgánica, su color rojo es debido a la gran cantidad de hemoglobina que dispone (de ahí su nombre popular "gusanos de sangre") que les permite resistir, aparte de sus branquias anales y abdominales en lugares donde los niveles de oxígeno disuelto son muy bajos, llegando, en caso de producirse anaerobiosis, a entrar la larva en estado quiescente y permanecer así hasta que vuelva a existir suficiente oxígeno. Esta es la razón por la que pueden medrar allí donde la materia orgánica es alta y el oxígeno disuelto es lo suficientemente bajo como para privarles de otros competidores. Monzón (1966) ha sido capaz de mantener un cultivo de Chironomus alimentándolo sólo con bacterias. El último estado larval genera una envoltura de seda donde se forma la pupa que emerge a los 3 días y en el caso de Ch. thummi es nadadora. En nuestro sistema Ch. thummi aparece tras el vertido de Guadalupe y se mantiene mientras la  $DBO_5$  permanece alta, (llega hasta la estación nº 9), volviendo a incrementar muchísimo su número a partir de los vertidos de Alcalá que bajan drásticamente la concentración de O.D., llegando desde ese momento a ser los seres más abundantes (junto a los Culex en una estación del año) de todos los ma-

microscópicos presentes en esta parte del Sistema. Su distribución pues, es fácil de explicar, no son seres reobiontes, son termófilos, necesitan sedimento fino y abundante materia orgánica, están bien adaptados a bajísimos niveles de oxígeno disuelto y no parecen ser afectados ni por la conductividad (son halófilos), ni por la alcalinidad, lo que hace que todo ello los haga ser los seres que por excelencia colonizan los hábitats más contaminados del sistema, siendo capaces de sobrevivir perfectamente incluso adversidades grandes, como importantes crecidas.

Con relación a otros Quironómidos, me referiré ahora a las larvas verdes de Orthocladinae, en las que una mirada a la tabla de su distribución en el Sistema nos da idea también de su inmensa variabilidad ecológica, poblando todo tipo de hábitats, aunque son mucho más numerosas asociadas a macrófitas y luego a piedras; lo que hace suponer que son las algas epifíticas y epilíticas quienes constituyen su principal tipo de alimentación, aunque también la materia orgánica, no en excesiva cantidad, parece estar asociada con su abundancia. En la parte alta del Sistema, existen Orthocladinae reófilas (Rheorthocladus sp.?), mientras que en las partes medias y bajas hemos encontrado Cricotopus sp. que parece más termófilo y mucho más euri y aguanta bien la alcalinidad, pareciendo estar limitado por niveles de oxígeno disuelto bajos (menores de 3 ppm), DBO<sub>5</sub> mayor de 10, y sulfatos mayores de 500 ppm.

Los Tanytarsus en el Sistema parecen indicarnos cierta po

lución orgánica de tipo natural debida a acúmulos vegetales, mientras que Rheotanytarsus, específicamente restringido a las estaciones 3, 4 y 5, forman pequeños tubos en forma de Hydra sobre las piedras durante el verano. Ello nos indica que el Sistema tras atravesar los terrenos ácidos, ha entrado en terrenos calcáreos (estación nº 3) y que el Carbonato cálcico que lleva el agua en solución es capaz de depositarse por acción de la fotosíntesis que realizan las algas epilíticas, de forma similar a la formación de un travertino. Gracias a la formación de este tubo puede la larva de Rheotanytarsus alimentarse ya que con saliva pegadiza contruye una pequeña red que sujeta en cada brazo de la estructura hidromorfa y con la que filtra y retiene el alimento que le porta la corriente. Sus factores limitantes primordiales son el  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , la corriente y la temperatura que son las que permiten la formación de esta estructura.

Los bioensayos sobre Rheotanytarsus exiguus (?) realizados por Johanson (1.937) suministran datos que ayudan a comprender su distribución en el Sistema:

| <u>Fe</u> | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>             | <u>Dureza</u>         | <u>Ca</u>  |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| 001-051   | 5,5-8,8               | 2-128                 | 1-55                  | 3-14                  | 4-193                 | 2-37       |
| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u> |
| 1-15      | 001-092               | 008-41                | 0,01-0,06             | 001-035               | 1-45,2                | 03-44      |

#### Turbidez

5.-72.000

pareciendo que es el aumento en la  $\text{DBO}_5$  el otro factor que acaba limitando aguas abajo su distribución.

Con relación a Diamesinae, Diamesa parece estar limitada a aguas frías y de curso rápido como lo testimonian los garfios que presenta como mecanismo de sujección. Los bioensayos recogidos por Roback (1.974) dan para Diamesa sp. los siguientes datos:

| <u>Fe</u> | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u>       | <u>OD</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> | <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> |
|-----------|-----------------------|--------------------|-----------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| 2,89      | 7,3                   | 39                 | 6               | 8         | 66            | 22        | 3         | 0,09                  | 0,5                   |
| <u>P</u>  | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u>         | <u>Turbidez</u> |           |               |           |           |                       |                       |
| 0,05      | 25                    | 0,8                | 20              |           |               |           |           |                       |                       |

Que están bastante de acorde con los obtenidos en la estación nº 1.

Con relación a los Tanypodinae del Sistema (Anatopynia sp?) están restringidos a la estación nº 6, ello se explica facilmente si pensamos que son seres carnívoros que se alimentan de organismos (larvas de dípteros, crustáceos, pequeños gusanos etc.,) que viven en el barro ó junto a los detritus que retienen las macrófitas, pero que por otra parte no parecen superar una DBO<sub>5</sub> mayor que 6, por lo cual aguas abajo a partir de Guadalaajara están restringidos y aguas arriba de la estación 6 tambien por no existir el substrato que precisan (barro y macrófitas) en cantidad suficiente como para que prosperen.

. Blepharoceridae.

Los diversos autores les dan una valencia de alta calidad biológica de aguas (valor 9) en los índices bióticos. Desde mi perspectiva creo con relación a esto que ocurre lo mismo que con Simulium; parece que se trata de especies muy estenos para la corriente y el oxígeno disuelto y por

lo tanto muy indicadores de un tipo especial de hábitat con características muy especiales, pero nada más. En el Sistema sólo hemos encontrado a Liponeura distribuida entre las estaciones 3 y 4, siendo abundantes en el cabo de la Mierla, destacando siempre sus larvas posadas sobre piedras, bien fijadas mediante sus seis ventosas ventrales, perpendicularmente a la corriente. La respiración puede realizarse gracias a la existencia de traqueas filiformes (plumosas) en penacho. La pupa se sujeta bien gracias a la emisión de secreciones quitinosas que existen a ambos lados del abdomen, aplastándose completamente gracias a su vientre plano. La especie de "cuernos" dispuestos como doble canal en forma de hojas, les sirven como órganos de succión. Las hembras atrapan insectos inmóviles a los que succionan (recordemos que está inmóvil y por mimetismo parece una pequeña piedra o se confunde con la que le sirve de sustrato). Los machos por el contrario parecen vivir exclusivamente de néctares. La hembra ovoposita en la orilla del agua, quedando los huevos dispuestos en línea bien sujetos a la roca. Parece que sólo tienen una generación al año. La estrecha banda en la que aparecen en el Sistema (entre las estaciones 3 y 4) parece que explica que lo que selecciona es una determinada velocidad de la corriente, que es la idónea para que pueda realizar sus funciones respiratorias y por lo tanto debe contemplarse su reobioncia obligada como el principal factor que explica su distribución en las aguas del Sorbe.



. Tipulidae.

Las larvas de Tipúlidos se hallan distribuidas asimétricamente en el sistema; por un lado tenemos tipúlidos en derredor de las estaciones 3 y 5 y por otra parte en las estaciones 7 y 13. Posiblemente estemos frente a dos especies diferentes, una de aguas rápidas (Antocha sp.?) y otra de aguas más lentas (Tipula sp.). Ambas parece que ponen directamente los huevos en el agua y que éstos eclosionan en el fondo. Todo su ciclo parece en cierta medida condicionado directamente con la temperatura, parece que existen especies uni y bivoltinas. Antocha (?) respira mediante branquias traqueales mientras que Tipula sp posee espiráculos caudales y sube ocasionalmente a la superficie. Con la existencia de pelos alrededor de los espiráculos puede atrapar burbujas de aire que le permite resistir más tiempo bajo el agua. Mientras que Antocha (?) parece asociada a musgos, hojas caídas y debris vegetales y raíces, Tipula sp es depredadora de larvas de otros dípteros, gusanos y odonatos, y por eso medra allí donde estos seres lo hacen. Los bioensayos realizados por Say dan para Antocha:

|           |           |                    |           |           |               |           |           |
|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| <u>Fe</u> | <u>pH</u> | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u> | <u>OD</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> | <u>Mg</u> |
| 0,61      | 78-84     | 88-108             | 11        | 9         | 95-226        | 25-64     | 7-14      |

|                       |                       |                       |                       |                       |            |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO</u> |
| 0,02-0,21             | 2,30                  | 0,01-0,02             | 0,02-0,56             | 7,5-135               | 1,1-4,4    |

Turbidez

11-34

lo que está bastante de acorde con los de las estaciones

3 y 5. Con relación a Tipula sp. su distribución en las estaciones 7 y 13 es bastante coherente, pues ambas estaciones se caracterizan por ser muy ricas en materia orgánica, con una  $DBO_5$  elevada y niveles de oxígeno disueltos bajos que gracias a sus espiráculos puede aguantar, y suficiente disponibilidad de alimento constituido por seres que como ella están adaptados a vivir en esos medios enriquecidos.

. Empididae.

Están representados por 2 géneros cuyo espectro ecológico parece totalmente diferente, por un lado tenemos a Dicranota, totalmente reófilo que vive debajo de las piedras, acantonado en la estación nº 1 y por otro a Ephydra acantonado en la estación nº 11, que está enriquecida con materia orgánica por los primeros vertidos de Alcalá.

. Syrphidae.

Están representadas en el Sistema por Eristalis, que medra en la estación nº 12, allí donde los niveles de oxígeno disuelto son mínimos (0 - 2 ppm) gracias a su cola telescopada ("cola de ratón" como vulgarmente se le conoce a esta larva) que extendida les permite respirar directamente el aire atmosférico estando sumergida en el agua. Estas larvas son enormemente resistentes a todo, siendo posiblemente los organismos más "euri" del Sistema. Los bioensayos recogidos por Roback dan:

| <u>Fe</u> | <u>pH</u> | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u> | <u>OD</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> |
|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 0,04      | 74-8      | 82-175             | 8-34      | 1-9       | 116-600       | 32-180    |

| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 7-36      | 0,05-6,13             | 0,01-0,17             | 0,01-0,04             | 13-370                | 15,4                   |

Turbidez

4-37

parece que con lo encontrado en la estación nº 12 se que dan cortos en casi todo, y que esta larva en pleno río es mucho más resistente que en el laboratorio.

## . Culicidae.

Son seres euri de aguas calmas y el que los citemos aquí no es porque su presencia ó ausencia sea indicativa, sino precisamente su abundancia. Al no depender del oxígeno disuelto, y poder respirar directamente el aire atmosférico gracias a sus sifones, larvas y ninfas pueden colonizar, en ausencia de competidores, esos hábitats casi anaerobios y cubrir las aguas como si se tratara de una nube constituyendo una auténtica plaga, lo que realmente ocurre en verno en la estación nº 12. Al no sufrir tipo alguno de competencia, ni existir depredadores ( ni siquiera la resistente Gambusia affinis) su número es tan alto que a simple vista puede predecirse la pésima calidad de las aguas, constituyendo un peligro potencial, no sólo por las molestas picaduras de las hembras, sino también por la existencia en las aguas contaminadas de gran cantidad de Nematodos, pudiendo bien medrar entre ellos en verno Filarias, de las que pueden actuar como vectores.

## . Tabanidae.

Está ampliamente distribuída a lo largo del Sistema, ya

que sus larvas son mucho menos acuáticas que las de los otros Dípteros, y aunque están provistas de espiráculos caudales que sacan fuera del agua. Suelen vivir sobre la vegetación de orilla y en suelos húmedos, y alimentarse depredando a expensas del perifiton. Por ello y salvo sus terribles picaduras, no tienen interés desde el punto de vista de bioindicadores de contaminación.

f) Hemípteros

Verneaux considera a los Hemípteros integrados en el 5º grupo que define una cierta calidad de aguas cuyo índice biótico oscila entre 2 y 5, según el número de unidades sistemáticas que les acompañen. Sin embargo, desde mi perspectiva esto debe ser revisado ya que estamos en presencia de organismos que no respiran el oxígeno disuelto en el agua, sino que lo toman directamente de la atmósfera merced bien a apéndices caudales que sacan fuera del agua para poder respirar (Nepidae) o sacando a la superficie la punta del abdomen que provista de pelos hidrófugos le permiten tomar el aire directamente (Notonectidae) y esto los hace ser particularmente resistentes a determinados tipos de contaminación.

En el Sistema, los principales hemípteros que hemos encontrado han sido:

|               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6     | 7     | 8 | 9     | 10    | 11 | 12    | 13    |
|---------------|---|---|---|---|---|-------|-------|---|-------|-------|----|-------|-------|
| Nepa rubra    |   |   |   |   |   | _____ |       |   |       |       |    |       |       |
| Nepa cinereum |   |   |   |   |   | _____ |       |   |       | _____ |    |       |       |
| Plea sp.      |   |   |   |   |   | _____ |       |   |       |       |    |       |       |
| Notonecta sp. |   |   |   |   |   |       |       |   |       |       |    | _____ | _____ |
| Gerris sp.    |   |   |   |   |   |       | _____ |   | _____ |       |    |       |       |

Lo primero que llama la atención es que los encontramos siempre junto a las orillas en las zonas remansadas, bien entre la vegetación ó muy próximos a ella (Notonecta y Nepa), bien en la interfase aire-agua (Gerris) con lo cual deducimos que los encontrados son todos organismos

reofugos. El que durante la estación fría prácticamente no se capturen adultos podría sugerir que estos seres atraviesan un período de hibernación más o menos largo dependiendo de la temperatura. Los huevos aparecen formando una especie de fila entre la vegetación de orilla, entre piedras y objetos flotantes, los diferentes tamaños de ninfas encontrados en una misma estación sugieren que tal vez presentan también un fenómeno de diapausa. La literatura describe que la eclosión de los huevos varía entre una semana y un mes. Casi todos presentan 5 mudas, tardando la ninfa en completar su desarrollo entre 1 y 2 meses. La ninfa es muy parecida al adulto y ocupa el mismo hábitat y es de suponer que el mismo nicho.

Son fundamentalmente depredadoras y se alimentan de larvas de dípteros, efémeras, crustáceos y todo tipo de artrópodos acuáticos. Notonecta es famoso por su voracidad y Nepa (el escorpión de agua) por su picadura.

En el Sistema llama la atención la limitada distribución de Gerris, que no puede explicarse sólo en términos de velocidad de la corriente y que desde luego es sensible a detergentes (pierde su capacidad de flotar en la interfase) y a una  $DBO_5$  alta, siendo seguramente estos 3 factores los responsables de que no alcance una mayor extensión.

Con relación al conjunto los Hemípteros parecen, en cuanto a diversidad, asociarse en torno a dos estaciones, la nº 6 y la nº 9; esto tiene fácil explicación, la estación nº 6 es la primera estación de aguas, aún bastante limpias en las cuales por efecto de las labores agrícolas,

se ha dado una situación de enriquecimiento que permite el que pueda sustentarse una comunidad variada que constituye la base alimentaria necesaria para el desarrollo de estos depredadores. La estación nº 9, en la presa de la Oruga presenta características muy parecidas, pues el río ya ha autodepurado el vertido de Guadalajara y las aguas ricas en sales disueltas generan otro lugar donde la productividad es alta. Así pues, la abundancia de Hemípteros, al menos en lo que a esta experiencia se refiere, más que indicar tal ó cual tipo de polución, dibuja un hábitat de aguas lénticas en el cual existe una fuerte productividad.

g) Coleópteros

En general son organismos realmente poco indicadores de calidad, pues verdaderamente han sido capaces de independizarse de muchas de las limitaciones del medio acuático, entre ellas del oxígeno disuelto. Tanto es así, que el índice de Verneaux ni siquiera los cita entre los grupos faunísticos que definen una calidad buena ó mala y sólo ocupan un modesto papel de Unidad Sistemática acompañante y a nivel de familia.

En el Sistema su distribución arroja los siguientes resultados:

|                              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| <u>Hydraena riparia</u>      | — |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Helmis maugeli</u>        | — |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Laccobius bipunctatus</u> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Gyrinus sp.</u>           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Brychius sp.</u>          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Enochorus sp.</u>         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Dytiscus sp</u>           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Esta distribución longitudinal observada tiene una cierta explicación, pues tanto Helmis como Hydraena, son organismos reófilos. Así Helmis, que no es nadador, está situado debajo de las piedras en zona de corriente, comiendo tejidos vegetales, raíces, algas y musgos. Su larva está provista de branquias caudales respiratorias y a diferencia de otros Coleópteros es oxígeno disuelto dependiente. Parece que la larva tiene 5 mudas y que la pu



pa vive unas dos semanas realizándose la pupación bajo las piedras. El adulto está provisto con pelos hidrófugos que cubren su cuerpo formando un plastron respiratorio. Hydraena por su parte, como adaptación a la corriente, ha reducido su aparato volador, no estando aún del todo aclarado cual es el mecanismo que le permite respirar, habiéndose descrito y en general para las Hydrophiloidea la utilización de las antenas para hacer un embudo respiratorio con el protorax que está conectado con las cámaras aéreas subelitrales. Los huevos son atados a la vegetación acuática y parece que su larva es depredadora, presentando ciclo anual con tres estadios larvarios y el adulto es diversívoro.

Tanto para Helmis como para Hydraena la velocidad de la corriente y los niveles de oxígeno disuelto parecen ser los principales factores limitantes que explican su distribución.

Laccobius, perteneciente a Hydrophilidae, así como Brychius (Haliplidae) tienen una distribución similar. Bioensayos recogidos por Roback con Laccobius sp. suministran los datos siguientes:

| <u>Fe</u>              | <u>pH</u>             | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>OD</u>             | <u>Dureza</u>         | <u>Ca</u> |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 002-289                | 73-84                 | 39-205                | 6-11                  | 8-11                  | 66-705                | 22-220    |
| <u>Mg</u>              | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> |           |
| 3-39                   | 0,08-0,97             | 0,44-2,3              | 0,01-0,02             | 0,01-0,56             | 14,2-450              |           |
| <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Turbidez</u>       |                       |                       |                       |                       |           |
| 0,4-2,1                | 4-29                  |                       |                       |                       |                       |           |

que son bastante similares a los obtenidos en las estaciones 4, 5 y 6, aunque en la realidad supera los límites

de 2,1 dados para la  $DBO_5$  y llegan hasta 5.

Enochorus (Hydrophilidae) da en los bioensayos de Roback

| <u>Fe</u> | <u>pH</u> | <u>Alcalinidad</u> | <u>Cl</u> | <u>OD</u> | <u>Dureza</u> | <u>Ca</u> |
|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 002-289   | 4,4-8,8   | 0-180              | 1-56      | 5-11      | 9-600         | 2-180     |

| <u>Mg</u> | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1-36      | 0,01-0,35             | 0,03-2,3              | 0,01-0,03             | 0,01-0,56             | 2,3-370               |

| <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Turbidez</u> |
|------------------------|-----------------|
| 0,2-20                 | 2-548           |

lo cual no se corresponde totalmente con los datos obtenidos en las estaciones 7, 8, 9 y 10, en las cuales la  $DBO_5$  es más alta, así como los niveles de  $NO_3$  y  $PO_4$  que en la realidad también son mayores.

Gyrinus y Dytiscus constituyen los Coleópteros sitios más aguas abajo en el Sistema estudiado, ocupando Dytiscus las últimas estaciones tal vez debido a que por una parte pone los huevos sobre barro y que al mismo tiempo dispone de un sofisticado mecanismo respiratorio con espiráculos caudales que le permiten tomar el aire atmosférico e independizarle por eso del O.D. presente en el agua. Por su parte la larva de Gyrinus está provista de branquias traqueales laterales por lo que es auténticamente acuática y eso explica el porqué sólo la encontramos en derredor de la estación nº 9 en las aguas calmas y relativamente limpias. Las larvas de Gyrinus y Dytiscus son depredadoras. Los adultos son capaces de portar aire bajo sus élitros, pudiendo renovarlo cada vez que suben a la superficie, el adulto de Gyrinus es diversívoro, el de Dytiscus es depredador como la larva.

Los bioensayos de Roback para Gyrinus spp. dan valores de:

| <u>Fe</u>  | <u>pH</u>       | <u>Alcalinidad</u>    | <u>Cl</u>             | <u>DO</u>             | <u>Dureza</u>         |                       |
|------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,01-2,20  | 5,5-8,5         | 2-124                 | 1-5.500               | 3-14                  | 8-5.000               |                       |
| <u>Ca</u>  | <u>Mg</u>       | <u>NH<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>3</sub></u> | <u>NO<sub>2</sub></u> | <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>SO<sub>4</sub></u> |
| 3-2.000    | 1-200           | 0,01-13,4             | 003-11                | 001-037               | 001-062               | 570                   |
| <u>DBO</u> | <u>Turbidez</u> |                       |                       |                       |                       |                       |
| 4,1        | 3-548           |                       |                       |                       |                       |                       |

que comparados con los obtenidos en la estación nº 9, no se corresponden para  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{DBO}_5$  existiendo en la realidad valores más altos.

Con relación a Dytiscus diremos que parece resistir todo y que tal vez sea sólo la velocidad de la corriente y la competencia biológica con otros Coleópteros que ocupan su nicho los únicos factores que realmente deciden de forma clara su distribución.

## II. MOLUSCOS

Constituyen cerca del 18% de todos los géneros del Sistema, estando representados tanto los Pelecípodos como los Gasterópodos. En el índice biótico de Verneaux están considerados como el grupo faunístico nº 4 que indica calidad comprendida entre 3 y 7.

### 1. Pelecípodos (Bivalvos)

Son minoritarios y su distribución está muy restringida, debido fundamentalmente a problemas de contaminación. Su representación en el sistema es:

|                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Pisidium sp.   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Musculium sp.  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Unio pictorium |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Como vemos pues están presentes las dos superfamilias Unionacea y Sphaeriacea, a las que daré un tratamiento diferente.

#### . Unionacea.

Está representada únicamente por la especie Unio pictorium, restringida a la estación 10; lo limitado de su distribución no puede achacarse sólo a fenómenos de contaminación, pues Unio es un organismo típico de Potamon, razón por la cual es imposible el que le encontremos en las 6 primeras estaciones del Sistema. Sin embargo, el que

⊗ Pudiera tratarse de Unio limosellus

sólo esté presente en una estación (la nº 10) y el que, además, los pocos ejemplares capturados, siempre en verano, sean de más de 6 años de edad, obliga a tratar con cierta amplitud aspectos relacionados con su ecología para predecir cuales han sido los factores y en que momento de su desarrollo les han afectado. De manera general resulta fácil explicar su falta de abundancia pues Unio está caracterizado precisamente por ser una especie tremendamente sensible al exceso de materia orgánica ( la  $DBO_5$  de las estaciones 7,8,11,12 y 13 resulta en principio demasiado alta para él) y por si esto fuera poco, se trata de un organismo filtrante que concentra los metales pesados (siendo el Cb el más abundante en el Sistema, y existiendo aunque en niveles bajos Cu, Zn y Pb), acumula organohalógenos, cuyos niveles son especialmente altos (DDT, Aldrin, Dieldrin ) en la estación 8; es muy sensible a los fenoles y además acumula residuos radioactivos, que si bien hoy ya no están presentes en el Sistema, hace unos pocos años, cuando aún funcionaba el reactor del En cín (junto a la estación 8) si debieron producirse vertidos radioactivos que de alguna manera debieron impactar sobre esta especie. Estamos pues ante una especie que hace tan sólo unos 10 años debía estar abundantemente representada en el cauce bajo del río Henares y que hoy está totalmente amenazada de extinción por toda una serie de vertidos. El que sólo aparentemente subsistan ejemplares relativamente viejos, parece sugerirnos el que los jóvenes son en verdad más sensibles a la contaminación, así pues una breve descripción del ciclo de vida de Unio pue

de revelarnos cuales son las fases en las que el impacto puede ser más severo.

En los Unionidae el ciclo comienza cuando los espermatozoides son liberados en el agua por los machos agregados en cuerpos volvocoides que lleva la corriente hasta que son recogidos por las hembras en su cavidad del manto. Aquí pues la corriente juega como factor en cierta medida regulador de la fertilidad y esto explicaría el que fueran más abundantes en la estación 10 p. ej. que en la 9 que es una presa. Una vez fertilizados los huevos, éstos son incubados diversos lapsos de tiempo en el marsupium entre las branquias, siendo susceptibles durante ese tiempo de ser atacados por bacterias y protozoos. Los vertidos de Guadalajara incrementan fuertemente el número de bacterias y por ende de protozoos, de tal forma que estos llegan en gran número hasta la estación nº 9, explica que en principio la mortalidad de los huevos va a ser muy alta, hasta la estación 9 y a partir de la estación 11, debido a este tipo de infección. Los huevos que sobreviven dan lugar a larvas, que alcanzarán una estructura de bivalvo pequeño, provista de microespinas o garfios. A estas larvas se les conoce con el nombre de glochidias, ya que no son veligeras como las marinas, pues aquí el mecanismo natatorio, debido por un lado a la corriente que las arrastraría aguas abajo indefectiblemente y por otro a la menor densidad del agua dulce, lo que dificulta su flotabilidad, no resulta eficaz para asegurar su distribución. Así que una vez liberadas estas glochidias, permanecen sólo cierto tiempo en suspensión, teniendo du

rante ese lapso que encontrar a un pez hospedador al que agarrarse, para poder supervivir y así dispersarse, so pena de no caer al fondo donde serán depredadas o asfixiadas. Precisamente aquí puede jugar su impacto de nuevo la contaminación, pues a veces vertidos intermitentes industriales durante el mes de Abril, época aproximada en la cual se liberan estas glochidias, han dañado a los peces, produciendo gran mortandad entre ellos (estación nº 8) y la huida de los demás con lo que estas glochidias pueden ser afectadas en su supervivencia, ó bien por falta de hospedadores o bien por fallos en los mecanismos de infección, recordemos que las glochidias de Unio seleccionan las branquias de los Teleósteos (en el Sistema, Cyprinus carpio) y que si bien un simple estímulo táctil parece suficiente para unir a las glochidias con el tejido hospedador, son necesarios estímulos químicos para que se produzca una "atadura" prolongada, estímulos que no siempre pueden producirse debido a la modificación que presentan las branquias (cubiertas de mucus, formación del supuesto film que genera anoxia con metales pesados etc.) en los peces dañados por ciertos tipos de contaminación. Pese a los trabajos de laboratorio de Ellis y Ellis (1.926) que parecen probar que la vida parásita no es absolutamente necesaria, la pérdida de este recurso, si esto realmente fuera cierto en el sistema, privaría a las glochidias de protección contra el ataque de bacterias y protozoos, y les quitaría la oportunidad de su dispersión. Durante el período de enquistamiento en las branquias, las glochidias sufren grandes cambios cua

litativos y unos pocos cuantitativos, una vez alcanzados los cuales el animal rompe el quiste, abandona al hospedador y se ubica en un sustrato apropiado que debe ser firme (pero dúctil) y estable, no valiéndoles por lo tanto, ni la arena removible ni el barro fino. Según Read (1.953) los jóvenes prefieren las zonas de graveras unidos a filamentos algales ó a rocas, sugiriendo que esta diferencia de hábitats entre jóvenes y viejos tiene por objeto el reducir la competencia por el espacio. Yo sólo he encontrado viejos y cerca de la orilla. A diferencia de otros seres, la competencia entre los mejillones, incluso en recursos tan elementales como espacio y comida, es pasiva, dependiendo del éxito de la reproducción.

Además de estos requerimientos, su alimentación debe estar compuesta de detritus en suspensión finamente divididos y nutrientes en solución, constituyendo una parte de su dieta tanto el fito como el zooplancton, aunque parece que este último (en especial Rotíferos y Flagelados) es preferido a las algas, lo que explica el que sean más numerosas, si el sustrato lo permite, en aquellas áreas donde se desarrolla una gran desintegración de vegetación. Por otra parte, su concha provee un sustrato sólido que es colonizado por varios tipos de algas, entre ellas Diatomeas y Cladophoras, que generan un microambiente sobre el cual se sustenta todo un zooplancton del que puede alimentarse, constituyendo por lo tanto esta asociación con las algas una forma de simbiosis. Llegan a filtrar de 3 a 6 litros de agua por hora (A.E. Ellis,



(1.978)). Entre los factores físico-químicos que parecen afectar directamente a su ciclo está la temperatura, que Chamberlain (1.934) confirmó como el factor desencadenante de la liberación de la masa de huevos, Young (1.911) mostró que temperaturas altas acortan el período de enquistamiento de las glochidias, y que temperaturas bajas inhiben el crecimiento, según Negus (1.966) sólo tendría lugar de Abril a Octubre. Los supuestos movimientos de los Unio, más que con la temperatura directamente, parecen relacionados con sus necesidades alimentarias. Con relación a la luz, se sabe que son fototáxicos positivos, teniendo esto tal vez que ver con un mecanismo preventivo con el que regulan su profundidad. Unio necesita aguas duras, alcalinas y pH relativamente altos, ya que si baja en demasía, el formidable intercambio gaseoso que realizan se vería impedido, y por otra parte, privado del efecto protector del Ca, concentrarían más metales. Unio parece sensible al Cloro y al Cobre. Con relación al  $\text{NH}_3$  su límite máximo parecen las 6 ppm, siendo los niveles de nitratos no muy altos, al constituir factores de cierta eutrofización, beneficiosos en la medida que incrementan la cantidad de alimentos disponibles. Con relación al oxígeno necesitan unos 5 mg/l, disminuyendo su actividad a medida que decrecen estos niveles, primero entreabriendo sus valvas en un esfuerzo desesperado de conseguir que pase más agua por sus branquias (momento en el cual el animal es terriblemente vulnerable), y posteriormente encerrándose hermeticamente y alietargándose para consumir el menor O.D. posible. Algunos autores, como

Lukacsovics (1.968), sugieren que los bivalvos son extraordinariamente sensibles al Potasio, cuya dosis letal oscila entre 4 y 7 ppm., hecho que desde luego no confirman los datos obtenidos en la estación 10, tal vez porque los otros componentes químicos presentes en las aguas impiden este efecto.

Con todos estos datos parece claro el que Unio no pueda sobrevivir en las estaciones 7,8,11,12 y 13 (O.D. demasiado bajo, metales pesados, insecticidas organoclorados) pero hipotéticamente sí podría en la 9 y en la 10 y si además las formas mayores prefieren las aguas más calmas ¿porqué no los encontramos en la estación 9, en donde existe una presa?. Sobre esto, ya he señalado un posible factor que contribuye a ello, la falta de corriente que condiciona en cierta medida su fertilidad, pero este factor por sí solo no es suficiente para explicar su ausencia. La realidad es compleja, y factores tales como la profundidad, los niveles de oxígeno disuelto muy bajos en verano en el fondo de la presa por establecimiento de un termoclima, etc, pueden jugar un cierto papel, pero sin duda el más importante lo va a constituir la deposición de los fangos que porta el río en suspensión desde la estación 7. Estos fangos por un lado perturban el sustrato en el que se desarrolla Unio haciéndolo inestable, por otra parte los sólidos en suspensión antes de depositarse impiden la penetración de la luz afectando las respuestas fototácticas induciéndoles a permanecer cerrados. Estos fangos no sólo ejercen efectos indirectos, sino también muy directos, así Ellis (1.936) demostró que el ba-

rro acaba penetrando en las branquias y pese a la abundante secreción mucosa que secretan como defensa para ex pulsarlo, acaban muriendo. Pienso que realmente este es el principal factor que explica por una parte su no captura en la estación 9 y por otra parte el porqué tras la presa, que ha decantado los fangos y además ha posibilitado, al remansar las aguas, un enriquecimiento en planc ton que por drift fluye abundantemente hacia la estación 10, encuentran el único tramo del Sistema en el que potencialmente pueden supervivir ya que a partir de aquí los nuevos vertidos de Alcalá de Henares hacen imposible su distribución aguas abajo.

#### . Sphaeriacea

El índice de Verneaux los sitúa un grupo faunístico abajo de los demás Moluscos, dándoles valores entre 2 y 5, según los acompañantes. Están representados por los géneros "Pisidium" y "Musculium" que son en general, bastante euritopicos, gracias a que han superado el problema de la reproducción mediante el hermafroditismo, siendo incluso fértiles a sí mismos, pudiendo así un solo individuo extender la especie.

De los dos, Musculium (posiblemente Sphaerium transversum) es más numeroso en la estación 7 lo que parece sugerir que son particularmente resistentes a los efluentes ricos en materia orgánica con una  $DBO_5$  elevada. En cuanto a Pisidium (posiblemente P. casertanum) parece ser también bastante resistente y tiene un espectro ecológico similar. Ambos, a diferencia de otros seres del Sistema,

resisten bien las crecidas.

## 2. Gasterópodos.

En cuanto a géneros son desde luego mucho más diversos y abundantes que los pelecípodos, estando en el sistema re presentados tanto Pulmonados como Prosobranquios, aunque los primeros son muchísimo más numerosos. Su distribución viene esquematizada en la tabla:

|                       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| <u>Pulmonados</u>     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Ancylus fluviatilis   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Planorbis sp          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Segmentina sp.        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Limnea spp.           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Physa spp             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Spiralina vortex      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Radix sp              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Gyraulus laevis       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Prosobranquios</u> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Valvata               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Bythinia tentaculata  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Amnicola sp.          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

### a) Pulmonados.

Evolutivamente provienen de caracoles marinos provenientes del litoral, que sufrieron la presión ambiental que les obligó a exponerse libremente a la atmósfera. Esto

explica el que sean organismos monoecios, que no tienen opérculo, y que han perdido evolutivamente los ctenidios (branquias) propias de los Moluscos, habiéndolas reemplazado por una rica vascularización en la cavidad del manto. En general, tienen concha ligera y son animales bastante activos. Al ser capaces de utilizar el oxígeno atmosférico para respirar, pueden supervivir donde la falta de este gas es limitante para otros organismos; sin embargo esto es sólo circunstancial pues sus huevos sí necesitan del oxígeno disuelto para poder desarrollarse. De todas formas, su presencia tanto en abundancia como en diversidad en el Sistema, está ligada a un medio enriquecido en materia orgánica ya parcialmente mineralizada por autodepuración. La estación nº 7 es un claro ejemplo de ello. También es llamativo que allí donde desciende la abundancia y la diversidad de insectos (por insecticidas, materia orgánica, etc), éstos son masivamente reemplazados por Moluscos, llegando a crear auténticas plagas. Recordemos que Planorbis, Physa y Limnea son vectores de los Trematodos que producen diversas esquistomiasis (p. ej.: Fasciola hepatica...)

. Ancyclus.

Es el molusco que está más repartido a lo largo de todo el Sistema. El índice biótico de Verneaux le da un valor como grupo faunístico superior a los otros moluscos, equiparándolo a los efemerópteros no Ecdionúridos, definiendo una calidad de agua comprendida entre 3 y 8 según las unidades sistématicas acompañantes. En el Sistema es

tán presentes tanto Ancylus como Ancylastrum fluviatilis.

Dos son los únicos factores que parecen limitar su distribución, por un lado la existencia de un substrato sólido en el cual poder fijarse (rocas o cantos) y por otro los niveles de oxígeno disuelto, nunca por debajo de 5 mg/l. Pese a estar descrito como un organismo típicamente reófilo, esto no se confirma en el Sistema, ya que es tá presente en zonas donde la corriente es moderada. Es una especie euri que coloniza tanto aguas ácidas como aguas duras, alimentándose de algas bénticas con su típica rádula. A lo largo del Sistema, existen distintas generaciones presentes durante todo el año.

. Limnea.

En el Sistema estamos ante varias especies de Limnea, (entre las que siempre está presente L. peregra), que curiosamente alcanzan su máximo de diversidad durante el Otoño en la estación nº 1. Ello parece sugerirnos que se trata de especies bastante euritermas, que les gustan las a guas limpias, con cierta conductividad, alcalinidad, cal cio y enriquecidas por materia orgánica totalmente natural, tolerando bien cierta corriente, gracias a su amplio pie. Esto parece desmentir las observaciones de muchos ecólogos que hablan de Limnea como organismo asociado a corrientes moderadas, lo cual pese a ser cierto en líneas generales, no puede explicarse como una acción directa de la velocidad de la corriente, sino como una acción in directa de ésta sobre otro factor que a su vez puede influenciar las poblaciones de Limneidos. Las ya menciona-

das experiencias de Dittmar y Dorier vuelven a estar en desacuerdo, y así Dittmar da valores de 48 cm/sg como resistencia máxima, mientras que Dorier habla de 202 cm/sg y dice que es capaz de desplazarse frente a una corriente de 117 cm/sg, aunque también señala que él en la realidad sólo lo ha observado a 14 cm/sg. Hynes (1.960) señala que Limnaea peregra es capaz de desplazarse aguas arriba, para recolonizar, llegando a registrar desplazamientos de 2,4 Km al año.

La única diferencia observada entre los limneidos (en concreto Limnaea peregra) es que las de la estación nº 1 tienen las conchas más pequeñas y más gruesas que las de las estaciones de aguas abajo, tal vez como adaptación a la corriente y en prevención de los accidentes por choque con las piedras por arrastre. Sus hábitats son siempre las piedras y las macrófitas. Realmente resulta difícil explicar su distribución en el Sistema, pues si bien desde la estación nº 7 hasta la 9 pudiera sufrir los efectos de una dura competencia con otras especies mejor equipadas para esos hábitats como Physa, ó limitadas por el "boom" de sus depredadores como Helobdella, y entre la estación 1 y 2 la alcalinidad y el Ca, muy bajos, puedan constituir factores limitantes, el porqué no encontramos Moluscos, salvo Ancylus en las estaciones 5 y sobre todo en la 6, resulta una incógnita, donde el único factor no biológico llamativo sea la gran turbidez que se genera cada vez que llueve.

Su distribución a partir de la estación 9 es la clásica,

pudiendo medrar bien en las aguas enriquecidas y muy polucionadas gracias a su mecanismo respiratorio y su euri termia. En el Sistema se reproducen al final del verano de forma masiva.

#### . Physa

En principio su espectro ecológico parece bastante similar al de Limnea, y su distribución hacia aguas más arriba podría explicarse como una forma de evitar la competencia, extendiéndose Physa hacia zonas menos alcalinas, con menos  $CO_2$  y más O.D. y más ricas en nutrientes que las estaciones 11, 12 y 13 que son en las que se queda Limnea. A esto podría contribuir el que, a diferencia de los demás Pulmonados, Physa es diversívoro (incluso carnívoro) y desde luego puede encontrar más y mejor alimento aguas arriba que aguas abajo. Así pues Physa ocupa en el Sistema los mejores nichos obligando a Limnea a tener que ocupar los potencialmente inferiores, dentro de lo relativo que es todo esto. Physa alcanza su "boom" en la estación nº 7 tras la autodepuración parcial del vertido de Guadalajara. Este "boom" justifica también la abundancia de sus depredadores clásicos, los hirudíneos. El por qué no aparece en las estaciones 5 y 6 debe ser por las mismas e ignotas causas (¿la turbidez?) que Limnea.

#### . Planorbidae

En el Sistema están representados por Planorbis, Spirali na y Gyraulus, llamando poderosamente la atención los res tringidos que se encuentran. La única explicación posible



tal vez sea debida a la fuerte competencia con otras especies ó a fallos en el muestreo. De todas formas las Planorbis son especialmente sensibles a los fosfatos, que son bastante elevados en muchas de las estaciones donde podrían potencialmente encontrarse. Gyraulus es el más euritermo y es el que encontramos más aguas abajo.

b) Prosobranquios.

Desde el punto de vista ecológico, al menos en teoría, los prosobranquios tendrían que ser más estenotópicos que los pulmonados. En efecto, en estos últimos, la monoecia, la no dependencia total del oxígeno disuelto en el agua, su concha ligera, su actividad, etc., constituyen mecanismos que facilitan la dispersión y la colonización por ende de otros hábitats, en los cuales las condiciones medioambientales están sujetas a mayores fluctuaciones, mientras que los diseños evolutivos generados en los Prosobranquios, que inicialmente colonizaron los ríos a partir de los estuarios (se trata pues, de un tipo de evolución totalmente diferente de los Pulmonados) los han obligado a sufrir una serie de adaptaciones tales como la necesidad de osmoregulación, la pérdida del estadio de larva que nada libre (trocófora ó velígera) el desarrollo de huevos encapsulados con gelatina, la dioecia (excepto Valvata), la posesión de opérculo, ctenidios, dependencia del oxígeno disuelto en el agua, conchas gruesas y pesadas que condicionan una menor actividad, etc., adaptaciones que por sí mismas constituyen mecanismos limitativos de la dispersión ecológica. Por tan

to no es de extrañar que los factores clásicos considerados como limitantes para los Moluscos, como alcalinidad, anhídrido carbónico, oxígeno disuelto, temperatura, e incluso metales pesados, pesticidas, detergentes etc., arrojen en general un espectro mucho más esteno para los prosobranquios que para los Pulmonados. Esto tal vez contribuya a explicar la menor diversidad encontrada en los Prosobranquios.

De los tres géneros encontrados, Bythinia es sin lugar a dudas el más euri de los tres, siguiéndole en resistencia Valvata. Tanto Bythinia como Valvata, van a presentar un espectro ecológico bastante similar, son moluscos que podríamos denominar "de madriguera" y su alimentación se compone de detritus, participando en esta función tanto la rádula como la acción ciliar. Ambos poseen una especie de "guante ciliado" sobre el cuerpo, cuya principal función es mantener limpia de partículas la cavidad del manto. Siendo el material englobado por el mucus defensivo posteriormente devorado. Amnicola por su parte parece requerir aguas más calmas con una mayor proporción de oxígeno disuelto (alrededor de la estación nº 9).

### 3) Tricladia =====

Están, desde mi punto de vista, injustamente discriminadas de los índices bióticos de calidad, pues tanto el "índice biótico del Trent" o el "índice de Verneaux" no las consideran con entidad de grupos faunísticos, sino sólo como unidades sistemáticas acompañantes e incluso los polacos los han extraído del lugar donde les asigna-

ran Kolhwitz y Manson en su primitivo sistema de los Saprobios.

Si bien es cierto, que las Planarias no son ni mucho menos indicativas de aguas frías y limpias, como se creía en un principio, su distribución longitudinal en el Sistema, así como su posición ecológica (no olvidemos que se trata de organismos depredadores y que por lo tanto su existencia viene determinada por las causas que no sólo les afectan directamente, sino también por todas aquellas que puedan alterar cualquiera de los eslabones inferiores de su red trófica) creo que les hace tan merecedoras como otros táxones de ocupar un puesto, por lo menos a nivel de ciertos géneros, como grupo faunístico de calidad.

En el Sorbe-Henares encontramos la siguiente distribución

|                        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| <u>Polycelis sp.</u>   | — |   | — |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Dugesia tigrina</u> |   |   |   |   |   |   | — |   |   |    |    |    |    |
| <u>Planaria spp.</u>   |   |   |   |   |   |   | — |   |   |    |    |    |    |

Como vemos, existe una cierta distribución longitudinal a lo largo del Sistema. Normalmente suele ser Crenobia quien ocupa la cabecera de los ríos y en el Sistema puede que sea así, sin embargo en la estación nº 1, Polycelis (posiblemente P. felina) ocupa las primeras estaciones (la 1 y la 3) y ello es debido a varios factores.

En primer lugar Polycelis se nos presenta como un ser hasta cierto punto psicroestenotermo (sólo vive en aguas que no alcanzan nunca los 20 °C de forma continuada) y poli-

oxiestenobionte (oxígeno disuelto no menor de 7 mg/L). El sistema de los Saprobios le situa como indicador de aguas Catharo-oligo- $\beta$ -mesosaprobias, lo cual está de acuerdo con lo encontrado en el Sistema. Es pues un organismo reófilo, que desaparece entre la estación 1 y 2, debido fundamentalmente a los arrastres húmicos, la caída de la alcalinidad y el bajo contenido en Ca, reapareciendo entre las estaciones 2 y 3 cuando las litofacies permiten al Sorbe recargarse algo de sales. Es un organismo depredador que atrapa a sus presas con ayuda de un mucus con el que las elimina selectivamente. Macan, (1.963) demostró como las poblaciones de Ecdyonurus, Rhithrogena y Baetis, que viven sobre las piedras, se veían afectadas por Polycelis, mientras que Plecópteros y otros organismos, que viven exclusivamente bajo ellas, no lo eran. El porqué no aparece en las estaciones 4, 5 y 6 parece ser exclusivamente por un problema de temperatura (en verano el agua de estas estaciones sobrepasa de largo los 20° C) y posiblemente también por la turbidez (al ser animales depredadores la turbidez les afecta para la caza). El alimento desde luego no les escasea en ninguna estación del Sistema, pues por el tamaño y la forma, los he encontrado normales (Recordemos que las Planarias pueden "ayunar" durante largo tiempo, por digestión interna, disminuyendo de tamaño y exhibiendo un cerebro desproporcionado ).

. Dug esia tigrina

En orden a lo observado en otros sistemas, "Dug esia gono

céphala" debía haber tomado el relevo longitudinal a Polycelis, y poblar la zona mesosaprobica, que ocupa las estaciones 4, 5 y 6. Sin embargo los muestreos en estas estaciones no han revelado la presencia de planarias, con lo que existe una discontinuidad entre las estaciones 4 y 7. Los posibles factores que expliquen esta discontinuidad, aparte del método de muestreo, posiblemente tengan que ver con la turbidez y con los vertidos de Yunquera y Fontanar, pues como demostró Stanner (1.954) Dugesia es muy sensible a  $\text{NH}_3$  y  $\text{SH}_2$  en concentraciones de 0,2-0,4 mg/l y a 3mg/l respectivamente, así como lo es a compuestos orgánicos de putrefacción, tales como indol, escatol, hidroxilamina, histamina, putrescina y cadaverina a concentraciones muy bajas (1-3 mg/L) Soibolt (1.956) En la estación nº 7 reaparecen los planáridos y entre ellos, aguas abajo de Guadalajara, está "Dugesia tigrina" especie que resiste bastante más el incremento de productos de descomposición orgánicos (más de 5 mg/l) y parece que los vertidos de Guadalajara, una vez parcialmente autodepurados, en cuanto a que significan restos de alimentos, bacterias, etc., favorecen, cuando las otras condiciones no son especialmente desfavorables (oxígeno disuelto p. ej.) su desarrollo, debido por una parte al abastecimiento alimenticio que les trae la corriente y por otra, a que la deposición de sólidos en suspensión genera la aparición de un nuevo sustrato en el que se asientan oligoquetos y quironómidos que pueden bien constituir parte de su dieta alimentaria. Los Hirudíneos, abundantes también en la estación nº 7, que

potencialmente podrían mermarlos, al menos en el laboratorio, no parecen hacerles el mismo caso que a los Moluscos ó los Quironómidos.

Sin embargo Dugesia sufre una fuerte competencia con Planaria lugubris y P. torva, competencia que reduce su abundancia drásticamente y parece sugerir que está peor dotada (tal vez por su color, o por su menor resistencia a las fluctuaciones físico-químicas) para su expansión en esta estación. He de señalar que sólo se han capturado ejemplares de Dugesia en invierno y primavera, cuando el río lleva abundante caudal y los niveles de O.D. no son tan bajos como cuando el estiaje.

#### . Planaria

Dentro del género Planaria, las especies más abundantes y más euri en el Sistema son desde luego P. lugubris y P. torva, a las que Kolhwitz situaba erróneamente también en zona oligosaprobia. Los resultados en el sistema muestran que estas Planarias medran en las superficies inferiores de las piedras, evitando la luz (fototropismo negativo) lo que confirma su condición de animales crepusculares. En la estación nº 7 es donde alcanzan su apogeo, lo que parece confirmar que no sólo estamos en presencia de organismos que soportan la contaminación orgánica, sino que niveles relativamente considerables de ésta les favorecen.

La brusca disminución en diversidad de los insectos, debida a polución compleja (en la que existen entre otros insecticidas y detergentes, que no afectan sensiblemente

te a Planaria), y el enriquecimiento del medio, especialmente en detritus y materia orgánica en vías de degradación, permiten a estas especies ocupar más ampliamente un nicho que en otras estaciones tienen mucho más restringido. Así su abundancia va decreciendo aguas abajo a medida que decrecen la  $DBO_5$  y los sólidos en suspensión.

#### 4) Hirudínea

Con relación a los hirudíneos como indicadores, debemos señalar que ninguna sanguijuela es considerada como indicador de aguas limpias. Es más, los diversos índices bióticos ó establecen diferencias entre ellos, p. ej. dando a Helobdella un valor 3 y a los demás entre 5 y 10, ó las encuadran en un mismo espectro como grupo faunístico (p. ej. Verneaux) dándoles un valor de 2 a 5 en virtud de las otras unidades sistemáticas presentes.

En el Sistema la distribución es la siguiente:

|                         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Helobdella stagnalis    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Erpobdella octoculata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Dina lineata            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Glossiphonia complanata |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Sin lugar a dudas, dos son los factores que parecen ser los determinantes en esta distribución, por una parte la necesidad de un enriquecimiento de materia orgánica, (una  $DBO_5$  6 ppm) que si bien no parece afectarles direc

tamente, pues los hirudíneos toleran bien bajos niveles de oxígeno disuelto e incluso condiciones anaerobias durante cierto tiempo (p.ej. ya demostró Bonge en 1.888 que *Erpobdella* podía aguantar 45 horas sin O.D. en el agua), si puede hacerlo indirectamente, en cuanto que propicia la existencia de una fauna que constituye el alimento clásico de estos seres. Por otra parte y aunque sea redundante, el pH y por ende la alcalinidad parecen ser factores que limitan su distribución, así posiblemente los fuertes arrastres húmicos, los bajos pH y la alcalinidad escasa los impidan medrar allí donde se producen, fundamentalmente en Otoño, fuertes acúmulos de materia orgánica de origen vegetal.

Podría pensarse, a la vista de los datos, que la velocidad de la corriente podría ser otro factor limitante, sin embargo, al poseer poderosas ventosas estas pueden constituir una salvaguarda que los preserve de los avatares de la corriente. Su bajo coeficiente de drift parece confirmar esto.

La simple presencia o ausencia en principio no permite discriminar más, siendo necesario recurrir a criterios de abundancia (nº de individuos por m<sup>2</sup> de superficie en substrato similar) para poder darse una idea de la verdadera intensidad de la contaminación de origen orgánico.

Los factores exclusivamente naturales que parece pueden afectar principalmente la distribución de los hirudíneos, son por un lado la existencia de comida disponible (p. ej. la escasez de moluscos de la estación nº 6 podría explicar la no existencia de Glossiphonia en esta estación);



el substrato, ya que de alguna manera necesitan de un substrato fijo (piedras, vegetación sumergida, etc) sobre el que poderse fijar pues si no el mecanismo de succión no les valdría para nada (p. ej. esto puede explicar la ausencia de una especie tan resistente como Helobdella stagnalis en la estación nº 12, porque la mayor parte del substrato es arenoso y esta especie no puede ocupar ese hábitat). Por otro lado su abundancia a partir de la estación 7 nos confirma su resistencia frente a los insecticidas organoclorados, que en el sistema no los afectan, lo que está de acuerdo con los bioensayos realizados por Naqui (1.972) que parecen señalar la extraordinaria resistencia de las sanguijuelas al DDT (una  $DL_{50}$  de más de 100 ppm.!) y a la mayoría de los insecticidas (Lindano, Clordano, etc..) con  $DL_{50}$  comprendidas entre 0,5 y 10 ppm. Con relación a detergentes y fenoles, compuestos a los que clásicamente están descritos como sensibles las sanguijuelas, por una parte la dureza de las aguas facilita la precipitación de los primeros con lo que éstos no pueden ejercer su efecto nefasto y con relación a los fenoles, aunque éstos no han sido determinados, la existencia de Gammarus, organismos también muy sensibles a estos compuestos, testimonia el que los niveles de éstos, si existen son muy bajos.

#### . Helobdella

En el Sistema es el hirudíneo más asociado con el enriquecimiento en materia orgánica y aumento de la  $DBO_5$ . Normalmente Helobdella se alimenta de moluscos, pero H. stag

nalis que es la especie capturada en el Sistema, característica por su pequeño losange quitinoso dorsal, parece que tiene restringida su dieta a Oligoquetos, Quironómidos, pequeños crustáceos y ocasionalmente pequeños caracoles tipo Planorbis. Según esto debería sufrir una fuerte competencia con Erpobdella, competencia que parece resolver en parte ocupando las aguas abajo más cercanas al foco de polución y por otra parte a través del ajuste fenotemporal de su ciclo de vida. Helobdella pone sus huevos sobre delicados sacos membranosos que ata a su superficie ventral hacia el mes de Mayo. Generalmente parece que es la temperatura quien regula la fecha, y esto ocurre sólo cuando el agua alcanza una media de unos 15º C. Los jóvenes que salen de los huevos son transportados por sus padres durante algunas semanas, hasta que los adultos suelen morir; ya que parece que son muy pocos los individuos que superviven más de un año. Curiosamente pese a estar descrito como muy euri, en el Sistema en cuanto abundancia es ampliamente superado por Erpobdella y además las discontinuidades observadas parece que se correlacionan bien con los picos de alcalinidad, sugiriendo que esta especie es más sensible a la alcalinidad que su competidora Erpobdella. Parece que su actividad es función de la temperatura, y esto se correlaciona bien con el aumento de su capacidad depredadora en el período inmediatamente anterior a su fase reproductiva.

#### . Erpobdella

Es en cuanto abundancia, el hirudíneo más importante en

biomasa de todo el Sistema. La especie encontrada *E. octoculata* ocupa una distribución similar a *Helobdella* y su alimento característico lo constituyen Oligoquetos, Odonatos, Coleópteros, Tricópteros, Efémeras y Dípteros, especialmente *Chironomus thummi*. Dos parecen ser los factores que han influido para explicar su éxito sobre *Helobdella*, por una parte (al menos esto lo he comprobado experimentalmente en el laboratorio) ha sido capaz de cambiar parte de su dieta, alimentándose de caracoles y planarias cuando escasea el alimento clásico, y por otra parte es más longeva que *Helobdella*, viviendo la mayoría de ellas más de un año, y alrededor de un 10 % casi los tres años. Las experiencias de Hann (1.961) que relacionan la respiración de las sanguijuelas con su ecología, nos ayudan a comprender como influye esto: parece que la cantidad de oxígeno que requieren las sanguijuelas para su respiración es mucho más proporcional a su superficie que a su peso, esto implica que el consumo de oxígeno es mayor en los individuos más pequeños que en los individuos mayores. Pues bien, si con esta información volvemos al Sistema, es fácil comprender que en verano, durante el estiaje, cuando los niveles de oxígeno disueltos son más bajos, *E. octoculata*, a diferencia de los otros hirudíneos, los resiste mejor al estar en estado de adulto, y requerir por lo tanto menos oxígeno. En el Sistema *Erpobdella*, como otras sanguijuelas es más depredadora antes de la reproducción, teniendo lugar ésta a finales de Septiembre, depositando los adultos los huevos envueltos en típicos y delicados sacos membranosos de color marrón, con forma de

casco, y que atan a diversos substratos (piedras, macrófi-  
tas etc.). Este es el momento en el que parece que asisti-  
mos a una regulación de su población por parte de una de  
sus víctimas potenciales; en efecto los caracoles son ca-  
paces de depredar a estos embriones, controlando así par-  
cialmente la población de los que luego serán sus depreda-  
dores. En el laboratorio se observa cierto canibalismo en  
esta especie de cara a sus embriones, tal vez esto sea só-  
lo un fenómeno de regulación de la población debido a la  
cautividad. Los jóvenes emergen cuando todavía la tempera-  
tura de las aguas no es fría y los niveles de oxígeno di-  
suelto han subido en cierta medida. La mayoría en un año  
puede alcanzar la madurez sexual.

#### . Glossiphonia

Realmente resulta difícil de explicar el porqué ocupa un  
modesto 3º puesto entre las sanguijuelas presentes en lo  
que abundancia y distribución se refiere, pues a partir  
de la estación 7 el Sistema es rico respecto a su alimento  
potencial. En efecto, la literatura describe a G. compla-  
nata como especializada en una dieta basada casi exclusi-  
vamente en caracoles (Ancylus, Lithynia, Limnea, Physa,  
Planorbis etc..) y oligoquetos acuáticos (Limnodrilus)  
Bioensayos realizados comparando las distintas franjas en  
lo referente a dureza, pH, temperatura, alcalinidad y oxí-  
geno disuelto entre esta especie y las dos anteriores no  
muestran diferencias significativas. Así Mann (1.955) de-  
mostró que sólo Erpobdella ocotoculata, Helobdella stagna-  
lis, Glossiphonia complanata, G. heteroclita y Dina linea-

ta eran capaces de resistir una alcalinidad superior a 239 ppm, con lo cual si comprobamos los valores de alcalinidad obtenidos en el Sistema, veremos que esto ayuda a explicarnos el que sólo encontremos estas especies presentes a partir de la estación nº 7, pero no ayuda a explicarnos el porqué de la restricción de Glossiphonia. Las variaciones en pH dan 4 - 9,9 para H. stagnalis, 5,5 - 10,2 para G. complanata, 6,4 - 9,9 para Dina lineata y 4,6 - 9,4 para E. octoculata. Como podemos apreciar lo único que parece desprenderse de esto es que Glossiphonia tiene un límite menor algo más elevado (5,5 frente a 4 y 4,6) para el pH que Erpobdella y Helobdella, pero los datos obtenidos en el Sistema, aun teniendo en cuenta la variación estacional y diaria del pH no parece que desde la estación nº 7 puedan jugar ningún papel importante en su distribución. Con relación a la temperatura, la  $Cl_{100}$  arroja 35º C para Helobdella y Erpobdella y 33º C para Glossiphonia, lo que parece sugerirnos que este último es un poco más estenotermo que los dos anteriores, sin embargo, pese a que al final del verano durante algunas horas en varias estaciones se alcanza casi los 30º C, tampoco parece la temperatura, por si sola un factor que sea limitante para explicar la escasez de Glossiphonia. Con relación al oxígeno disuelto, los ya citados experimentos de Mann dan un consumo de oxígeno de 6,10 l/hora para Helobdella, de 4,95 para Glossiphonia y de 4 para Erpobdella (partiendo de 30 mg a 20 ° C) de donde podría pensarse que Glossiphonia fuera más sensible a este factor y ello ayudaría a explicar el que existiera entre las estaciones 9 y 10 don

de los niveles son más altos. Un último factor que tal vez contribuya a la escasez de Glossiphonia sea la conductividad, ya que en el Sistema sólo aparece allí donde decae algo la conductividad (entre la estación 9 y antes de la 10). Experiencias realizadas por Heirman (1.970) parecen confirmar esto cuando asocia como valores máximos del residuo total (en o/oo), 2,99 para Helobdella, 1,86 para Erpobdella, 1,6 para Dina y 0,95 para Glossiphonia.

##### 5) Crustáceos

Prescindiendo de las formas planctónicas tales como Ostracodos (Eucypris.....), Copépodos (Cyclops spp.) Cladoceros (Simosa, Dafnia..) abundantes en los tramos de aguas más remansadas del sistema a partir de la estación 6, los crustáceos de cierto tamaño para poderles incluir entre los Macroinvertebrados bénticos encontrados en el Sistema son:

|                              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| <u>Gammarus pulex</u>        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Potamobius pallipes</u>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| <u>Atyaephyra desmaresti</u> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

. Potamobius pallipes

Aunque su ecología, por tratarse de un animal de interés comercial es más conocida que la de otras especies, reseñaré los aspectos que considero más importantes para expli

car su distribución en el Sistema. Los hielos pleistocénicos parecen ser los responsables de que en el Sorbe Potamobius (=Astacus) pallipes sea el único cangrejo de río indígena de España. (En lo que al Sistema estudiado se refiere, no parece haberse repoblado antropogénicamente por la especie americana Cambarus, como ocurre en otros ríos de nuestro país.)

En el Sistema, Potamobius ha sido capturado desde encima de la estación nº 3 hasta la estación nº 4 (en concreto Beleña ha sido el último punto de captura de ejemplares), pudiendo posiblemente existir también entre la estación 1 y la 2, construyendo sus agujeros en las orillas de paredes verticales existentes, lo que sugiere que es una especie afincada en pequeñas corrientes, pudiendo prosperar en aguas algo ácidas y poco calcáreas, con la única condición de que los niveles de oxígeno disuelto sean elevados. Llama la atención esta limitación en lo que se refiere al oxígeno disuelto, sobre todo cuando se les ve "vivos y coleando" en las pescaderías, respirando aparentemente oxígeno atmosférico ó cuando en la naturaleza observamos que los adultos se mueven principalmente en la interfase agua-aire, lo que confirma que con un simple film de humedad en las branquias pueden sobrevivir. Esta condición pues de polioxiestenobionte no les viene por el estado de adulto, sino por el estadio de huevos. Huevos que la hembra debe llevar fijados a la cola durante casi seis meses, llegando a ser éstos tan oxígeno dependientes que la madre tiene que activar la circulación del agua con la cola para generar más turbulencia y así subir los niveles de

oxígeno disuelto al nivel requerido. Incluso una vez eclosionados los huevos, las larvas permanecen cerca de 15 días fijas sobre la madre. Esta es una de las razones de su veda que sólo se levanta el 21 de Junio hasta el 31 de Agosto y con tallas mínimas de 10 cm. La cópula tiene lugar entre Septiembre y Noviembre y a partir de este mes se encuentra a las hembras con los huevos, siendo particularmente abundantes en la estación nº 3 junto a Myriophyllum. A partir de este estadio sufren los típicos "crecimientos en escalera" siendo especialmente críticos los estadios de mudas, en los que los cangrejos jóvenes, desprovistos de su caparazón para poder crecer, son pieza vulnerable de todos sus depredadores y especialmente de sus propios congéneres. Normalmente suelen tardar unos tres años en alcanzar la madurez sexual. Aparte de altos niveles de oxígeno disuelto, el substrato también parece ser otra condición limitante que restringe su distribución, pues al tratarse de un ser diversívoro necesita ponerse a salvaguarda de sus depredadores y esconderse de sus presas en guaridas tales como agujeros, piedras y raíces. Normalmente a nivel popular se asocia "río cangrejero a río limpio" y la gente culpa con razón a la depredación antropogénica masiva y a la polución de la merma de las poblaciones naturales de estos decápodos y por lo tanto de su encarecimiento de cara al consumo.

#### . *Gammarus pulex*

A los Gammáridos los índices bióticos suelen darles valores diferentes, según los organismos con ellos asociados,



así los ingleses les dan un valor de 7 a 10 de calidad asociándolos con Efemerópteros (salvo Baetis), tricópteros libres y simúlidos, mientras que los franceses (Verneaux) los consideran como grupo faunístico con valor similar a Moluscos y Odonatos y cuyo índice de calidad oscila entre 3 y 7 según las unidades acompañantes. Por su parte Kolh-witz los considera en la franja que va desde la zona catharosaprobia hasta la -mesosaprobia. Todo esto nos indica que podemos encontrar a Gammarus en multitud de aguas siempre y cuando estas tengan una serie de características semejantes. El estudio de las estaciones en las que está presente puede ayudarnos a explicar su distribución en el Sistema.

Si desde el punto de vista ecológico comparamos a Gammarus con otros seres del Sistema comprobamos que estamos en presencia de un ser que está bastante mal adaptado a la natación y que además carece de mecanismos de sujeción, todo ello le configura como un ser reófono y sin embargo, si bien parece evitar las fuertes corrientes, siendo siempre mas numeroso junto a la orilla que en el centro del río, no podemos decir que esto sea del todo cierto. Indefectiblemente aparece asociado a madrigueras tales como piedras, musgos y sobre todo a macrófitas acuáticas, de cuyas hojas caídas y algas epifíticas parece nutrirse, al menos en su estadio adulto (Hynes (1.954) sugiere que los Gammarus recién nacidos se alimentan mejor, al menos en el laboratorio, con las heces de sus padres que con los detritus vegetales). Gammarus, tal vez para evitar una depredación demasiado fuerte, parece preferir hábitats aguas arriba

donde la variedad de sus depredadores y la intensidad de la depredación es relativamente menor que la que pudiera acaecer aguas abajo. Así pues para mantenerse aguas arriba necesita por una parte ser muy prolífico y así dar más de una generación al año, teniendo además un ciclo de vida mayor de un año estando presentes diversos estadios a la vez en cada estación. En verano, cuando la mayoría de los insectos al hacerse adultos abandonan el agua y hay una pérdida de biomasa, donde está presente Gammarus, esta pérdida está en alguna forma compensada pues Gammarus sigue produciendo generación tras generación. Por otra parte, el vivir en un hábitat para el cual no parece adaptado anatómicamente trae consigo el que Gammarus sea una de las especies que más deriven, pudiendo tal vez estar en relación su alto coeficiente de drift con un exceso de producción en el hábitat y con su falta de mecanismos de sujeción. Para compensar esta pérdida de población aguas abajo, Gammarus tiene tendencia a viajar aguas arriba, nadando de madriguera en madriguera contra corriente durante el verano (cuando es menor el caudal y por lo tanto la velocidad). Así pues durante el invierno, posiblemente por efecto del drift y gracias a la mejora de condiciones con relación a la contaminación (por ocurrir una mayor dilución debido al aumento de caudal) podemos encontrar Gammarus en las estaciones 7 y 8, mientras que en verano encontramos a Gammarus fundamentalmente agrupado en torno a la estación nº 5 y habiendo desaparecido (¿eliminado o tal vez capaz de haber remontado?) de las estaciones 7 y 8. Si nos fijamos en lo encontrado en el Sistema, diríamos

que Gammarus pulex es una especie totalmente euriterma, que soporta tan bien las frías temperaturas de la estación nº 1 como las cálidas que se dan en verano en la estación 6. A tenor de lo encontrado, también diríamos que la existencia de G. pulex corre pareja con unos ciertos niveles de conductividad (lo cual es lógico pues sin sales no hay macrófitas) y con una cierta disponibilidad de niveles de Calcio. Hynes (1.954) demostró en el laboratorio que Gammarus no podía rehacer su cutícula en aguas que contenían menos de 5 mg/L de dicho catión. Sin embargo al haberlo capturado en aguas ácidas en otros ríos, no está tan clara dicha afirmación.

Clásicamente los Gammarus están descritos como organismos muy sensibles a detergentes, fenoles, hierro y herbicidas (diuron y derivados del fenoxiacético). En el Sistema sólo los detergentes (cuya acción está limitada por la dureza de las aguas) podrían jugar tal vez algún papel en su distribución.

#### . Atyaephyra desmaresti

Curiosamente aparece al igual que Gammarus asociada a la vegetación litoral o de fondo, y también exhibe un movimiento de desplazamiento aguas arriba. Margalef en su obra sobre los Crustáceos de aguas dulces de la Península Ibérica afirma que su alimentación está constituida fundamentalmente por algas verdes como Oedogonium, Spyrogyra, Tetraedron..., diatomeas tales como Synedra y Cyclotella, Cianofíceas y detritus vegetales; en definitiva parece que ocupa el mismo nicho que Gammarus y por lo tanto

debe competir con él. Si comparamos una especie con la otra, aparte de la alimentación, vemos que también coinciden en la euritermia y en la eurihalinidad, sin embargo, parece que divergen en algunos aspectos, entre ellos en la estación nº 9, junto a la presa de la Oruga, Gammarus ha desaparecido, cediendo su puesto a los Atiidos, que parecen así mejor adaptados a aguas lentas o estancadas; en la estación nº 10 pese a la mejora de condiciones que supone, siguen sin estar presentes los Gammáridos y también está únicamente colonizada por Atyaephyra, posiblemente por deriva ó bien presionado por sus depredadores las larvas de Odonatos, especialmente abundantes en la estación nº 9. Por otra parte, no se encuentran entre la estación 6 y la 9 en ninguna época del año, lo que parece sugerir que es más sensible a los niveles bajos de O.D. y al aumento de la  $DBO_5$  que lo es Gammarus. De nuevo aguas arriba, ambos se solapan en las estaciones 5 y 6 y ambos parecen soportar bastante mejor que otros Crustáceos los efectos de las crecidas. (p. ej. en febrero he capturado Atiidos muy numerosos en la estación nº 4 !!a-sociados a Artemisa!! que por la crecida había pasado a ser temporalmente una planta "acuática".) El que no encontremos Gammarus en la estación 4 y sí Atiidos, vuelve a sugerir que éstos tienden a desplazarse, tal vez por efecto de la competencia, hacia allí donde los niveles de O.D. son mejores pese a que allí sufra la depredación de los voraces Anax. Tal vez esto sea solo cierto en parte, y que lo que ocurra es que Gammarus no puede remontar aguas

arriba por ser vorazmente depredado por *Salmo trutta fario*, siendo esta depredación mucho más grave y limitante que la que sufren los Atiidos por los Odonatos. De hecho en el Sistema Gammarus parece delimitar perfectamente con su ausencia las zonas donde Salmo trutta fario campa a sus anchas. Los Atiidos se reproducen a principios de verano pudiendo apreciarse en estas fechas a las hembras portando los huevos. En septiembre y octubre, entre el plancton (fundamentalmente en la estación nº 9) pueden apreciarse zoéas, promisis y misis pertenecientes a esta especie.

#### 6) Oligoqueta

Salvo en el caso de los Tubífidos y de los Maiididos, la mayor parte de los Oligoquetos no son considerados como bioindicadores de calidad de aguas. Ello es debido a que en su distribución parece ser más decisivo el factor substrato en el que se desarrollan que la propia calidad del agua, aún cuando este substrato sea en parte resultante de las características físicas y químicas que determinan el cauce en un punto dado.

En general se puede decir que se trata de organismos adaptados a la vida de madriguera en fondos de sedimentos blandos, sedimentos que ingieren alimentándose selectivamente de bacterias que les están asociadas.

Si estudiamos su distribución en el Sistema, comprobamos que:

|                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Lumbriculus         |   | — |   |   |   |   | — |   |   |    |    |    |    |
| Nais                |   |   |   |   |   | — |   |   |   |    | —  |    |    |
| Limnodrilus spp.    |   |   |   |   |   |   | — |   |   |    | —  |    |    |
| Branchyura sowerbi  |   |   |   |   |   |   |   | — |   |    |    |    |    |
| Pachydriulus        |   |   |   |   |   |   |   | — |   |    | —  |    |    |
| Tubifex (ribulorum) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | —  |    | —  |
| Criodrilus lacoom.  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | —  |

Existe una cierta distribución longitudinal a lo largo del río, ocupando los niveles superiores los lumbricúli- dos, que en el Sistema aparecen asociados a macrófitas, que con sus raíces son capaces de acumular barro y detri- tus (fundamentalmente restos vegetales), que posibilitan el que estos seres puedan medrar allí. Naturalmente apare- cen asociados a aquellas macrófitas que poseen raíces más poderosas y que les garantizan pues estabilidad y comida durante todo el año. Este tipo de hábitat parece adecuado para su reproducción arquitómica (se parte en ocho frag- mentos similares).

Tras Lumbriculus (posiblemente L. variegata), aparecen los Naididos, que parecen indicar enriquecimiento de tipo or- gánico, mayor que el generado normalmente por condiciones naturales. Si atendemos a los resultados, parecería que Nais pese a soportar una  $DBO_5$  relativamente elevada, re- quiere de unos mínimos niveles de oxígeno disuelto (4mg/L) para su normal supervivencia pese a haber adoptado respi- ración intestinal y reproducción por escisión transversal. Branchyura sowerbi ocupa un hábitat muy restringido, la

presa de la Oruga, estación nº 9, lo que parece estar de acorde con su ecología de especie termófila (en verano esta estación alcanza su máximo en temperatura), pareciendo también más amante de aguas calmas que rápidas.

Con relación a los Enquitreidos, Pachydrilus parece más indicativo de suelos húmedos, que de sedimentos acuáticos.

Por último, los Tubífidos y en especial Limnodrilus (posiblemente L. hoffmeisteri) son los oligoquetos dominantes allí donde existe una fuerte polución orgánica, ello es debido a que han sido capaces de adaptarse perfectamente a su nicho ecológico, viviendo en un ambiente sobrecargado de materia orgánica y por ende de bacterias abundantisimas y diversas gracias a poder soportar niveles de oxígeno disuelto bajísimos, que ellos mismos parecen capaces de originar mediante sus movimientos. Estas adaptaciones les permiten medrar casi con exclusividad en un ambiente que resulta inhabitable para la mayoría de los macroinvertebrados.

La literatura describe que la posible competencia que podría existir entre los diferentes Tubífidos presentes al mismo tiempo en una misma estación, es limitada con una dieta específica bacteriana para cada especie, esto de todas formas no me he puesto a comprobarlo, pero puede parecer exagerado dado el elevadísimo número de alimento potencial disponible, ya que por muy poblados que estén los sedimentos por Oligoquetos, es difícil que este sea deficitario, al menos en el Sistema, si tenemos en cuenta ade

más el constante aporte que drenan los efluentes.

Por lo observado en el Sistema, el gran aumento de la materia orgánica trae consigo el incremento en Oligoquetos; los niveles altos de sales y de pesticidas parecen no afectarles nada, y sólo los vertidos bactericidas (tipo de los antibióticos de Welcome le petit) reducen drásticamente su abundancia, más que por acción directa sobre ellos, por mermar una parte esencial de su alimentación.

Su presencia, a nivel de casi exclusividad, en los ambientes contaminados fuertemente por materia orgánica, les hacen ser buenos indicadores de este tipo de contaminación en el agua.



# Bibliografía

## Claves generales

- Edmondson, W.T. et al (1.959)  
Fresh Water Biology. (O. Ward and O. Whipple) 2nd ed.  
Wiley, New York
- Perrier, Rémy (1.972)  
La Faune de la France. Librairie Delagrave. Paris.
- Macan, T.T. (1.975)  
Invertebrados de agua dulce. Eunsá (Pamplona)
- Needham J.G. & Needham P.R. (1.978)  
Los seres vivos de las aguas dulces. Ed. Reverté  
Barcelona
- Quigley, M (1.977)  
Invertebrates of streams and rivers. A key to identification. Ed. Arnold.
- Ambühl, H. (1.961)  
Limnol, 14 390-5. 7,163
- Besch and Roberts Pichette, P (1.970)  
Effects of mining pollution on vascular plants. Can.  
J. Bot. 48: 1647-1656
- Bick, h (1.968)  
Autoecología y saprobiología de los protozoos ciliados  
Hydrobiologia, 31:17-36
- Chutter, F.M. (1.972)

A reappraisal of Needham and Usinger's data on the variability of a stream fauna. *Limnol. Oceanogr.* 17(1) 139-141

- Deschamps, h (1.967)  
Ecologie des trichopteres de la valle d'Aure. *Annals. Limnol.* 3 (3): 399-577
- Dittman, H (1.955)  
*Arch. Hydrobiol. Suppl.* 22: 295-300
- Dorier, H and Vaillant F (1.964)  
Observation et experiences relatives a la resistance au courant de divers invertébrés aquatiques. *Trav. Lab. Hydrobiol. piscic. Univ. Grenoble* 45/6, 9-31, 130, 132
- Ellis, A.E. (1.978)  
*British Freshwater Bivalve Mollusca.* Academic Press.
- Hartland- Rowe, R. (1.964)  
Factors influencing the life histories of some stream insects in Alberta *Limnol.* 15, 917-25, 231, 272, 283-4 292, 296.
- Hynes, H.B.N. (1.970)  
The ecology of running waters. *Liverpool University Press.*
- Hynes, H.B.N. (1.960)  
The biology of polluted waters. *Liverpool University Press.*
- Kolhwitz R. (1.919)  
*Rev. G. Hidrobiol, Hydrogeogr.* 2: 126-152

- Macan (1.963)  
Freshwaters Ecology. Longmans, London.
- Maitland, Peter S. (1.978)  
. Biology of fresh waters. Blackie Glasgow and London.
- Mann (1.961)  
The oxygen requeriments of leeches considered in re-  
lation to their hábitats. Limnol, 14, 1009-13, 216-7
- Margalef, R. (1.955)  
Los crustáceos de las aguas contienentales ibéricas.  
Instituto Forestal.
- Negus, C.L. (1.966)  
A quantitative study of growth and production of Unio  
nid mussels in the River Thames at reading. J. Animal  
Ecol. 513-32, 276, 281, 426
- Phillipson, J (1.956)  
A study of factors determining the distribution of the  
blackfly Simulium ornatum. Mg. Bull. ent. Res. 47,  
227-38, 148, 197.
- Selwyer S. Roback (1.974)  
Ecology of pollution freshwater invertebrata. Academic  
Press.
- Sladeczek, V. (1.973)  
System of water quality from the biological point of  
view. Arch. Hydrobiol. 7:218
- Semmerman, K.M. (1.955)  
Ecol. Monogr. 25, 345-85, 186, 229, 257, 287.

- Vera, R (1.978)  
Claves de determinación de familias y géneros del orden Trichoptera (larvas) de la región Palearctica occidental. Dept. Zoología. Universidad Complutense.
- Verneaux, J. (1.977)  
Ecological Basis for the management of water quality and fish population. Applied Science Publishers.
- Wu, Y.F. (1.931)  
A contribution to the biology of Simulium Pap. Mich. Acad. Sci. 13, 543-99, 148, 157, 163.
- Zahar, A.R. (1.951)  
The ecology and distribution of black-flies. J. Anim. Ecol. 20, 33-62
- Zahner, R (1.959)  
Revue ges. Hydrobiol, Hydrogeogr. 44, 81-130.

Microalgas: Algas bénticas y fitoplancton

3.1. Dos son las causas que principalmente considero para abordar conjuntamente el estudio de las algas bénticas y el del fitoplancton:

A) En 1º lugar, como el sistema estudiado pertenece a un ecosistema de Rhithron-epipotamon, la formación de "verdadero plancton", debido fundamentalmente a la velocidad de la corriente, va a encontrarse muy limitada, estando sólo representado éste por unos pocos géneros de Diatomeas (Tabellaria, Fragilaria, Melosira, Asterionella, Stephanodiscus), Clorofíceas (Pediastrum, Scenedesmus y Ankistrodesmus), Cianofíceas (Anabaena) y unos cuantos flagelados (Euglena). Esta pobreza va a explicar, que salvo los géneros mencionados, entre la composición de las algas adheridas y las algas flotantes, las únicas diferencias existentes se refieran sólo a la cantidad y no a la calidad. En el Sistema todo parece comportarse como si existieran "reservorios principales" de algas bénticas, en cualquiera de sus modalidades "epi" (epilíticas, epifíticas, epipélicas) las cuales en un momento dado, por diversas causas (crecida del río, desarrollo excesivo de las poblaciones algales que las hacen susceptibles de arrastre por la corriente etc..) son "arrancadas" y transportadas en suspensión aguas abajo. Así indefectiblemente la red de fitoplancton captura junto con los verdaderos seres planctónicos, cantidades ingentes de algas bénticas "a la deriva" que navegan en busca de un nuevo sustrato al que colonizar. Así

pues, esta mezcla continua entre el verdadero plancton y las algas bénticas (yo me atrevería a llamar "planctónicas" durante esta parte de su vida en la que derivan), contribuye a justificar desde mi punto de vista, puesto que coexisten juntas, su estudio conjunto, siempre y cuando se tenga en cuenta el carácter "histórico" de las algas bénticas derivantes (pues son un testimonio del pasado reciente o remoto desde el momento en que han sido arrancadas), con lo cual para las capturas no sólo basta su identificación, sino que también es menester su "chequeo" clínico. Este análisis resulta difícil, pues en el caso de muchas algas, (especialmente las diatomeas sin rafe no es fácil saber si están vivas o muertas, limitándose mi análisis, por falta de medios y tiempo a verificar la movilidad de las diatomeas con rafe y al análisis al microscopio óptico de los daños visibles en los cloroplastos en aquellas especies que los tienen lo suficientemente grandes y característicos, expresando en tanto por ciento el número de individuos de tal o cual especie que presentan esos daños en una estación de captura dada.

En 2º lugar, el estudio comparativo entre las poblaciones epilíticas, epipéllicas y epifíticas, revela que tampoco existen diferencias cualitativas entre ellas y que éstas son sólo de tipo estadístico, si bien las especies mayores son más abundantes en los objetos sólidos y las de crecimiento menor sólo suelen encontrarse con cierta abundancia en los materiales más estables (piedras grandes). Esto nos sugiere que la importancia que algunos ecólogos han dado

al factor sustrato es algo desmesurada y si bien su estabilidad si que constituye un factor clave, otras de sus propiedades parecen ser mucho menos discriminatorias.

B) Tanto algas bénticas (en general prefiero el término de algas adheridas) como fitoplancton (algas libres) parecen responder en lo fundamental a los mismos parámetros limitantes, que son los que influyen casi exclusivamente su distribución. Así pues la luz (y la turbidez), la temperatura, la conductividad como medida de las sales disueltas, la alcalinidad entendida como el exceso de cationes sobre los aniones fuertes, y el balance Nitrógeno/Fosforo constituyen, aparte de la velocidad de la corriente y los gases disueltos en el agua, las variables físico-químicas que influyen de un modo más directo la distribución de estos seres en el Sistema.

Naturalmente estas consideraciones son sólo válidas para el Sistema en su conjunto y en su parte más representativa, pues también a lo largo de los dos ríos se generan diversos remansos, constante o parcialmente abastecidos, que constituyen en muchos casos microhábitats especiales, que realmente reflejan poco ó nada las verdaderas condiciones de calidad del río.

Prescindiendo de algas "grandes" (Lemaneas, Cladophoras..) si analizamos la tabla de datos obtenidos a partir de la estación nº 3, comprobamos como en el Sistema son las algas bénticas derivantes quienes dominan tanto en abundancia como en diversidad la composición de las algas captu-

radas con red.

# TABLA DE RESULTADOS

----- Más numerosas sobre piedras (epilíticas)  
 -.-.-.-.- Mas numerosas sobre macrófitas (epifíticas)  
 ===== Mas numerosas sobre fondos (epipélicas)

| ESTACIONES                          | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Algas identifi-<br>cadas            |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cymbella -.-.-<br>lanceolata =====  | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cymbella .-.-.-<br>ventricosa ===== |   | X | X | X | X | X | X | X  | X  |    |    |
| Cymbella -.-.-<br>prostata =====    | X |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Cymbella cis                        | X |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Clorella                            | X | X |   | X |   |   |   | X  | X  |    |    |
| Ulotrix zonata                      | X | X | X | X |   |   | X |    | X  | X  |    |
| U. cilindrica                       | X | X | X | X |   |   | X |    | X  | X  |    |
| Sirogonium                          | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Oedogonium<br>. -.-.-.-.-           | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Rangia                              | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Synedra ulna<br>. -.-.-.-.-         | X | X | X | X |   |   | X | X  | X  | X  | X  |
| Synedra -----<br>goulandii -.-.-    |   |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Diatoma vulgare                     | X | X | X | X | X | X |   |    |    |    |    |



[illegible]

| ESTACIONES                    | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Navicula<br>cuspidata         | X |   | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  |
| Navicula<br>ambigua           | X |   | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  |
| Gomphonema<br>spp. ....       |   |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Cladophora<br>glomerata----   |   | X | X | X | X |   |   | X  |    |    |    |
| Tabellaria                    |   | X | X | X | X |   |   | X  | X  | X  |    |
| Calotrix                      |   | X |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Ankistrodesmus<br>fallatus    |   | X | X |   | X | X | X | X  | X  |    | X  |
| Pediastrum ===                |   | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  |
| Cocconeis-----<br>.....       |   |   | X | X | X | X | X | X  | X  |    |    |
| Scenedesmus<br>incrassatus=== |   |   | X | X | X | X | X | X  |    |    |    |
| Rivularia-----<br>dura .....  |   |   | X |   |   |   |   |    | X  |    |    |
| Rhoiscospenia                 |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cilyndrospermum               |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Hyaloteca                     |   | X | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Palmella .                    |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Closterium                    |   | X | X |   | X | X | X | X  | X  | X  | X  |
| Asterionella                  |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Crucinega                     |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Oscillatoria===               |   |   | X |   | X | X | X | X  | X  | X  | X  |
| Mougeotia                     |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Gyrosigma ====                |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |

| ESTACIONES                     | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Opephora                       |   |   | X | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Frustulia<br>romboidea         |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Surirella<br>robusta =====     |   |   | X | X | X | X |   |    |    |    |    |
| Surirella<br>oblonga           |   |   | X | X | X | X |   |    |    |    |    |
| Caloneis<br>amphisbaena==      |   |   | X | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Amphipleura<br>lindheineri     |   |   | X | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Gomphoneis<br>herculanum       |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Melosira<br>distans =====      |   |   |   |   | X |   | X | X  |    |    |    |
| Melosira<br>varians =====      |   |   |   |   | X |   | X | X  | X  | X  | X  |
| Melosira<br>granulata          |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Melosira<br>roesea             |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Micrasterias                   |   |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Stephanodiscus                 |   |   |   | X | X | X | X | X  | X  |    | X  |
| Cymatopleura<br>eliptica ===== |   |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |
| Selenastrum                    |   |   |   | X |   |   |   |    |    |    | X  |
| Spirogyra                      |   |   |   | X | X | X | X | X  |    |    |    |
| Euglena                        |   |   |   |   |   | X |   |    |    |    |    |
| Geniculata                     |   |   |   |   |   | X |   |    |    |    |    |
| Tribonema                      |   |   |   |   |   | X | X |    |    |    |    |

| ESTACIONES                    | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Spirulina<br>subtilissima === |   |   |   |   |   |   | X |    | X  |    |    |
| Pleurosigma                   |   |   |   |   |   |   | X |    |    | X  |    |
| Cosmarium                     |   |   |   |   |   |   | X | X  |    |    |    |
| Anabaena                      |   |   |   |   |   |   | X | X  | X  | X  | X  |
| Arthrospira                   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  |
| Stauroneis ===                |   |   |   |   |   |   | X | X  |    |    |    |
| Zignema                       |   |   |   |   |   |   |   | X  |    |    |    |
| Dichtomosiphon                |   |   |   |   |   |   |   |    | X  |    |    |
| Microleus<br>paludosus        |   |   |   |   |   |   |   |    | X  |    |    |

(.). Cloroplastos dañados.

La simple contemplación de la tabla de resultados nos suministra ya dos tipos de información: por un lado, podemos visualizar una cierta zonación longitudinal a lo largo del sistema, definiendo las especies más esteno, así como caracterizando las especies más euri. Por otro lado, podemos tener una idea de la diversidad global anual que existe en cada estación. Con relación a la abundancia ocurren los mismos problemas de cuantificación que para los macroinvertebrados bénticos, siendo muy variables los contajes, incluso dentro del mismo día, por lo cual sólo se les puede dar un valor orientativo. Dada la gran variabilidad estacional observada, más que dar datos de frecuencias relativas me limitaré en su momento a describir que es lo que ocurre, pues pienso que hacer otra cosa, aunque desde luego más vistosa, no responde en absoluto a la realidad.

Sin embargo, este tipo de tablas de "resultado" que, desgraciadamente proliferan en demasía en realidad, al estar fuera del recurso tiempo, ocultan los complejos fenómenos ecológicos que acaecen en el Sistema, así que antes de entrar de lleno en su interpretación intentaré profundizar en dos tipos de fenómenos que nos ayuden a comprender por una parte la distribución de las algas a lo largo del Sistema, y por otra la sucesión de comunidades que acaece cíclicamente por acción puramente natural a lo largo de todo el año.

Ambos fenómenos no pueden ser estudiados separadamente, pues la fenología determina lo que potencialmente puede existir, mientras que la calidad del agua (natural y contaminada) distribuye o altera la gama y la abundancia de géneros potenciales posibles dentro de ese marco natural temporal.

. Consideraciones sobre la sucesión estacional y la distribución longitudinal de las algas del Sistema.

Al comienzo de este apartado he definido como principales factores físico-químicos limitantes para la vida de las microalgas la luz, la temperatura, la conductividad, alcalinidad y el balance Nitrógeno/Fosforo. Estos parámetros, son los que, junto con otros, posibilitan la vida de las algas. Como ya hemos estudiado en el apartado correspondiente a los factores físico-químicos, ninguno de ellos aparece como constante, sino que están sometidos a fuertes variaciones temporales, no es pues de extrañar que las poblaciones algales sigan los mismos avatares que los de los parámetros que hacen posible su vida.

Por otra parte, estos factores, por causas exclusivamente naturales o por efecto de la contaminación, también están sometidos a variaciones espaciales a lo largo del río, variaciones que explican su distribución en las distintas estaciones del Sistema. Así pues, aparte de los factores mencionados, las concentraciones y la naturaleza de los polucionantes y de las toxinas procedentes del metabolismo bacteriano (toxinas,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ) van a jugar un papel

crucial en esta distribución.

En nuestro Sistema, de manera general y salvo en puntos muy concretos, la contaminación que predomina es de tipo orgánico, con lo que el contenido en materia orgánica es otro parámetro a tener en cuenta, ya que desde el punto de vista de la energía y la materia, la polución orgánica aporta elementos nutritivos utilizables por los heterótrofos y no sólo esto, sino que los productos generados en su biodegradación también favorecen a otros tipos de organismos con lo que asistimos a una modificación grande de todo el equilibrio ecológico existente antes de los vertidos.

Para simplificar, como en el caso de los factores físico-químicos, daré los valores medios correspondientes a cada estación fenológica e intentaré describir lo que creo ocurre en cada una de las estaciones espaciales.

a) Las Microalgas y el invierno.-

Durante el invierno se produce una caída de los dos factores físico-químicos más importantes que regulan las poblaciones de microalgas: la luz, expresada como energía radiante recibida y la temperatura que alcanzan unos valores medios de 120 calorías por  $\text{cm}^2$  y día y de 6°C respectivamente. La mayoría de los autores que han realizado bioensayos han comprobado que al menos es necesaria una temperatura media por encima de los 12°C para que los seres planctónicos puedan desarrollarse normalmente, esto explica la tremenda pobreza de microalgas que encontramos

en invierno, tanto es así que sólo unas cuantas diatomeas de "invierno" están presentes en el Sistema de forma profusa. Estas corresponden a los géneros Diatoma, Meridion, Navícula, Gomphonema y Cymbella, es decir casi todas son algas adheridas arrancadas. Por otra parte también, el aumento del caudal y por ende de la fuerza de la corriente aumenta el fenómeno de "lavado", dejando menos tiempo a las microalgas para crecer y desarrollarse. Otro fenómeno que ocurre es que junto al declive estacional de las macrofitas acuáticas y a que muchas veces sus restos son arrastrados por la corriente, asistimos a un declive en el número y en la diversidad de las algas más epifíticas, que tienen que competir por otros sustratos para el que algunas están peor adaptadas que otras especies.

Si nos atenemos a las frecuencias relativas absolutas, en el Sistema el invierno vendría marcado por la proliferación de distintas especies de Diatoma que llegan a desempeñar un papel más que dominante (frecuencia relativa mayor del 50%) cubriendo por completo la superficie de las piedras sumergidas; posteriormente Gomphonema le acompaña uniendoselas pronto Navícula, Meridion y Cymbella. El Sistema evoluciona desde aquí poco a poco y van decreciendo Gomphonema y Diatoma para dar paso a Navícula y Cymbella que pasan a ser dominantes en Febrero y principios de Marzo respectivamente.

El porqué de esta sucesión, dados los pocos conocimientos que aún se tiene de la fisiología de las microalgas está bastante oscuro, aunque dentro de la lógica podría emitir



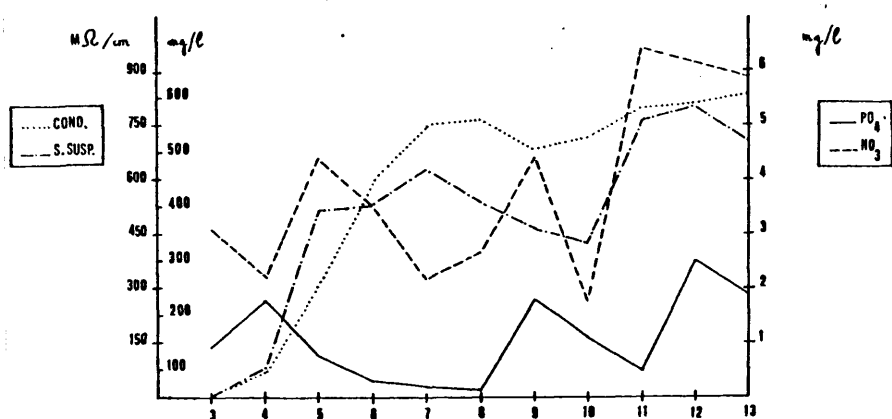
se la siguiente hipótesis y es que al ser Diatoma un género de tamaño mucho menor que el de los otros géneros citados, cuando comienzan a arreciar los "lavados", su menor tamaño debe permitirle encontrar más "guaridas" donde registrar la acción de las corrientes y esperar la mejora de condiciones mínimas para desarrollarse. Posteriormente el "tapiz" creado por Diatoma sobre las piedras generaría las condiciones para que pudiera "agarrarse" la "gelatina" de Gomphonema y comenzar la competencia que suele resolverse en la aparición de una zonación vertical siendo más abundante Gomphonema en la parte más alta de la piedra cara a la corriente. Posteriormente y cuando las condiciones de luz (que no de temperatura) mejoran un poco Navícula y posteriormente Cymbella toman el relevo de Diatoma, a ello tal vez contribuya el que al menos en el microscopio invertido parecen mucho más "activas" exhibiendo siempre una movilidad muy grande. Además en el caso de Cymbella, va a poder continuar siendo un género dominante hasta el mes de Mayo, gracias a que va a adaptarse a las corrientes adheriéndose a los sustratos por medio de una envoltura gelatinosa que hace las veces de protector y de "pegamento".

Haciendo pues un balance del determinismo fenológico en el Sistema podemos decir que en invierno no existe verdadero plancton y que los únicos ejemplares capturados con la red son algas bénticas derivantes de unos pocos géneros de diatomeas que han sido arrancadas por la corriente.

En cuanto a la zonación horizontal, debemos decir que por esta miseria de diversidad, y por lo mitigada que está la

contaminación, debido al efecto de dilución generado por el mayor caudal, es mucho menos acusada que en otras estaciones del año. Con todo y con eso, sí se encuentran algunas variaciones, que aunque en otras estaciones serán más acusadas, pueden servir ya como modelo de lo que más adelante acaecerá.

La variación de los parámetros físico-químicos que gobiernan estos cambios pueden esquematizarse así:



Atendiendo a los parámetros representados, durante el invierno se nos dibuja un marco que caracteriza las siguientes zonas:

A) La parte correspondiente al río Sorbe (estaciones 3 y 4) en la cual la pobreza en sales disueltas se traduce en que por falta de nutrientes las microalgas características sean o bien oligotróficas o bien mesotróficas. Esta parte

viene definida por la asociación Diatoma hiemale-Meridion circulare.

B) La parte del río Henares hasta Guadalajara (estaciones 5 y 6) en las cuales se aprecia ya un importante crecimiento de nutrientes que debía traducirse en un fuerte incremento del número de algas, no sólo por el aumento de la conductividad y la alcalinidad sino también por una mejor proporción de la relación Nitrógeno/Fósforo y el enriquecimiento moderado generado por el aumento de materia orgánica. Sin embargo las características propias del invierno, que ya he señalado limitan la proliferación de las microalgas a unos pocos géneros y el que los sólidos en suspensión (lease turbidez) alcancen en este tramo del sistema uno de sus máximos (margen izquierda pendiente sin cubierta vegetal), no permiten apreciar variaciones importantes con relación a la zona I, salvo si exceptuamos unas pocas especies acompañantes a los géneros dominantes. Así mientras en las estaciones 3 y 4 sólo detectamos la presencia de Nitzschia, aquí su representación es más importante, debido fundamentalmente al enriquecimiento en Nitrógeno. Algo similar también ocurre con Gomphonema como respuesta al enriquecimiento en alcalinidad y nutrientes.

C) A partir de los vertidos de Guadalajara el sistema entra en valores de conductividad elevados, en una disminución del balance Nitrógeno/Fósforo (recordemos que las aguas residuales tienen una relación aproximada de 3 a 1) y en un importante aumento de la materia orgánica. Ello se

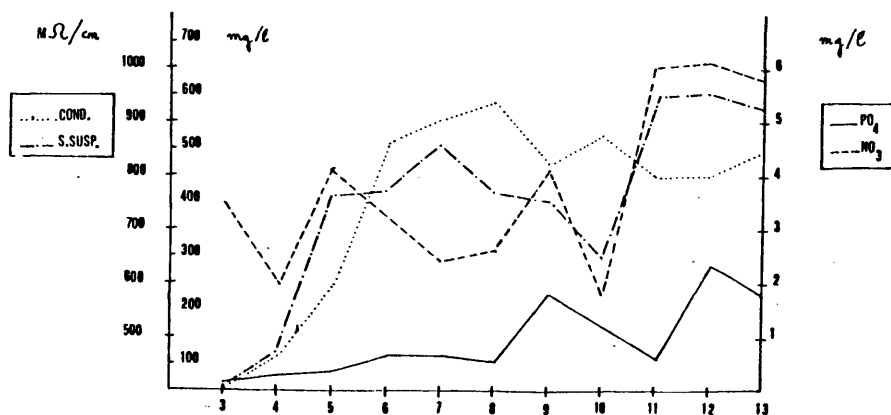
va a traducir en que si en general las algas dominantes hasta el momento eran autótrofas estrictas y estaban acompañadas de unas pocas heterótrofas facultativas, a partir de aquí las especies autótrofas van a declinar fuertemente siendo sustituidas por heterótrofas facultativas y heterótrofas estrictas en proporción creciente según la elevación de la  $DBO_5$  en cada estación.

Así pues, en el Sistema van ya desde el invierno a comenzar a sentirse cambios longitudinalmente que van a ir siendo mayores a medida que mejoran las condiciones fenológicas favoreciendo la proliferación de más especies. Estos cambios, como son mucho más llamativos en otras estaciones, los trataré allí adecuadamente. Con relación a esta zona diré que no es homogénea ni mucho menos y aunque se puede decir que existe cierta homogeneidad entre las estaciones 7 y 8, en la estación 9 en donde existe una represa, las microalgas van a verse favorecidas por las aguas algo más calmas (sólo "algo" en invierno) y por la precipitación de los sólidos en suspensión con lo que eso significa de disminución de la turbidez. De todas formas durante el invierno esta mejora tampoco es llamativa. La estación siguiente a la represa (estación 10) viene directamente influenciada por esto y a partir de Alcalá volvemos a asistir a una repetición, sólo que mucho más grave, de lo que ocurría tras el vertido de Guadalajara. Como este impacto es más característico también en otras estaciones en ellas lo trataré.

b) Las microalgas y la Primavera.-

Si bien en el Sistema la mejora en las condiciones de temperatura del agua (en el sentido de rebasar continuamente los 12°C que se han dado como valor límite para el desarrollo del plancton) no se dan hasta finales del mes de Mayo, las variaciones en la luz son capaces de provocar importantes sucesiones, dentro de ellas los aspectos más llamativos son el fuerte declive de Gomphonema y Diatoma y Meridion, la reducción del número de Navículas, la dominancia hasta el mes de Mayo de las Cymbellas y la importancia cada vez mayor, a medida que mejoran las condiciones, de géneros tales como Tabellaria, Fragilaria, Ulotrix, Synedra, Asterionella, Melosira, Cocconeis, Clorella, Oscillatoria, Oedogonium y Cladophora, allí donde la corriente alcanza cierta velocidad.

Los parámetros físico-químicos definidos por su parte van a presentar los siguientes valores:



La secuencia de los acontecimientos en las siguientes estaciones es como sigue:

En las estaciones 3 y 4 los nutrientes siguen siendo relativamente bajos, constatándose que ni la diversidad, ni la abundancia alcanzan nunca un máximo relativo con relación al resto de las estaciones del Sistema sitas aguas abajo. Los esquemas generales trazados por numerosos autores señalan abstractamente que en aguas limpias la diversidad siempre es alta y la abundancia baja. Esto que es cierto para este tramo del Sorbe podría no parecerlo si comparáramos los valores obtenidos con cualquiera de los índices de diversidad clásicos en las distintas estaciones sin embargo, esto que desgraciadamente se hace mucho, constituye un error, pues los índices deben ser sólo aplicables a aquellas aguas que tengan unas ciertas condiciones de homogeneidad natural. Así pues, en las estaciones siguientes, ya pertenecientes al río Henares, sus aguas más ricas en sales y allí donde están limpias, permiten un mayor incremento en la diversidad de las poblaciones de microalgas sin que por ello podamos decir que éstas aguas están menos polucionadas que las del Sorbe. En efecto, en el tramo comprendido por las estaciones 5 y 6 Ulotrix y Synedra incrementan su abundancia, Melosira distans cederá su puesto paulatinamente a Melosira granulata y en general proliferan las Fragilarias, perfectamente adaptadas a la navegación y que alcanzan hasta la estación 11, las Asterionellas, las Cymbellas ventricosas, los Coconeis, comenzando la aparición de algunas conjugadas como Mou-

geotia y de Clorococales como Cladophora y Clorella en menor número. Margalef en su libro de Ecología ilustra bien el fenómeno que se da en el Sistema a partir de la estación 4, referido a la competencia establecida entre Cladophora y las zignemales, en concreto Mougeotia. En la estación nº 5, las zignemales que tienen un crecimiento muy rápido son las primeras que adquieren un gran desarrollo y de alguna forma, en parte debido a esta velocidad de crecimiento y en parte debido a la naturaleza mucilagínosa de la capa externa de su membrana, admite pocos epifitos por lo que a su alrededor están más favorecidas los filtradores, sin embargo, Cladophora, aunque su crecimiento es más lento, por su membrana desnuda admite gran número de epifitos y el enorme desarrollo de éstos influencia tanto la luz como la disponibilidad de nutrientes y por ende la fauna que la rodea integrada fundamentalmente por "raspadores". Así pues dentro de una misma estación fenológica el "oportunismo" de las zignemales acaba dando paso al carácter más estable de Cladophora.

En general pues, siguen dominando abrumadoramente las diatomeas, algunas de las cuales (Tabellaria, Fragilaria, Melosira, Asterionella y Stephanodiscus) son ya verdaderamente planctónicas. Las especies que encontramos a partir de la estación 5 son en su mayoría propias de aguas alcalinas, salvo la aparición a veces en gran número de Desmidiaceas (Hyaloteca es la más abundante) coincidiendo con períodos de lluvias. Es el tiempo también de las algas filamentosas que como Dedogonium, Ulotrix y Cladophora emi-

ten sus largos tallos adelantándose a las Macrofitas, constituyendo casi los primeros sustratos de importancia para que en ellas se asienten las diatomeas epifíticas.

De Guadalajara hacia abajo, el cuadro varía en el sentido de una disminución progresiva en la abundancia de las especies mas esteno como Gyrosigma y D. hiemale, y un incremento en la abundancia de las especies más resistentes a la contaminación de tipo orgánico, entre ellas Cymbella ventricosa, Clorella pyrenoidosa, Synedra ulna, Cocconeis, Asterionella, Stephanodiscus, Melosira varians y Oscillatoria comienzan a hacer su agosto, así como entre las Diatomas D. elongatum y entre las Navículas N. cryptocephala son las más frecuentes. En los sitios con corriente medra la Xantoficea Tribonema que sin embargo no puede superar indemne los vertidos de Alcalá, y en las estaciones 9 y 11 las Nitzchias y las Surirellas testimonian el enriquecimiento del Nitrógeno en las aguas.

A finales de Mayo pues y aún sin haber alcanzado la temperatura crítica de los 12°C existe ya una pléyade de microalgas, entre las que aparece ya claramente marcada una zonación horizontal, lo que confirma el caracter claramente "oportunista" de estos seres que ante la mínima mejora en las condiciones ambientales que componen su espectro ecológico experimentan un desarrollo rapidísimo fiel testimonio de las modificaciones que sufre el medio.

En el Sistema se da la paradoja de cuando al menos teóricamente las intensidades lumínicas son las más favorables



para conseguir una alta eficiencia fotosintética, la temperatura no está a la altura de las circunstancias y la productividad no es todo lo elevada que cabría esperar.

En el mes de Junio se alcanza por fin la temperatura crítica y en el Sistema por vez primera pueden comenzar a proliferar masivamente no sólo Diatomeas sino también Clorococales y Cianofíceas.

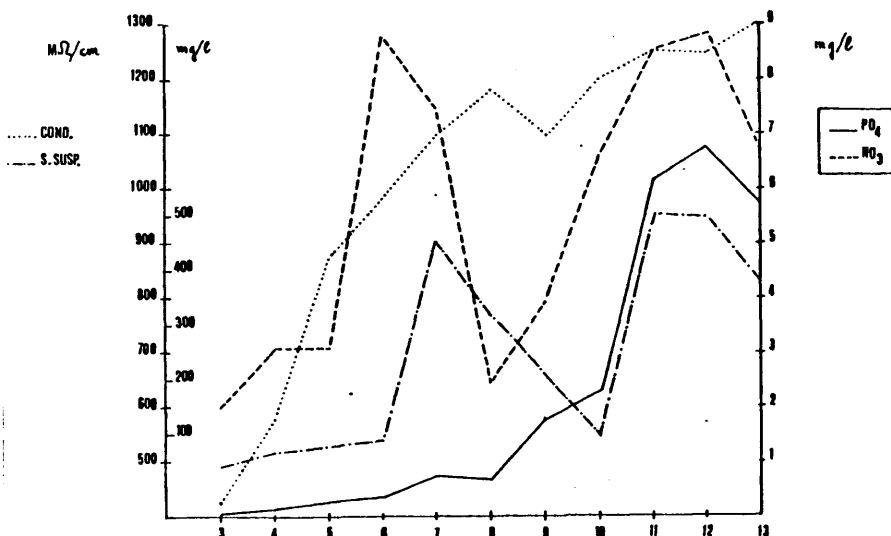
c) Las microalgas y el verano.-

El verano en contra de lo que podía pensarse no va a ser una estación homogénea, sino que vamos a asistir a una sucesión de fenómenos que corren parejos con el aumento de la temperatura. En efecto mientras que al principio ésta ejerce un papel enriquecedor sobre las microalgas, a medida que supera cierto umbral, (en el Sistema en algunas estaciones llegan a superarse los 28°C) decrece el índice de flotabilidad de las microalgas derivantes, siendo favorecidas por tanto, dentro de las euritermas, aquellas que presentan mecanismos de adaptación especiales para poderse mantener siempre a flote.

En el Sistema se establecen tanto por acción natural como por efecto de la polución, que en esta época del año debido al estiaje es mucho más fuerte, una serie de barreras que determinan una verdadera zonación horizontal, pudiendo cada tramo del Sistema comportarse de forma diferente a los demás.

En esta estación los parámetros físico-químicos limitantes

dan unos valores de:



La primera zona que se delimita en cuanto la respuesta de las microalgas al cambio de condiciones es la zona del Sorbe (estaciones 3 y 4) en la cual la temperatura no sobrepasa los 20°C y la conductividad, alcalinidad, fosfatos y itratos siguen alcanzando los valores más bajos. Esta zona sigue siendo la de las Diatomeas, en particular Diatoma, Navículas y Fragilarias y sólo unas pocas algas verdes, si exceptuamos Ulotrix zonata y U. cylindricum, Cladophora y Clorella que medran esporádicamente. Géneros que abundarán en el Sistema como Ankistrodesmus o Pediastrum tienen una representación muy reducida, y así los ejemplares de este último género son incluso muy pequeños en tamaño.

La segunda zona definida es la comprendida entre las estaciones 5 y 6 y se prolonga hasta los vertidos de Guadalaja

ra, en ella van a encontrar las microalgas las condiciones más favorables para su desarrollo: una conductividad media de  $900 \mu\Omega/\text{cm}$ , una alcalinidad media de  $150 \text{ mg/L}$ , una temperatura media de  $20^\circ\text{C}$  y sobre todo un balance nitrógeno/fósforo elevado. Además de esto, el aporte moderado de materia orgánica procedente de las granjas agrícolas y los vertidos poco importantes de Yunquera y Fontanar, contribuyen a enriquecer el medio con un aporte suplementario de nutrientes que permite un aumento de las poblaciones de microalgas en abundancia, por lo que éstas en esta zona pueden tender a formar una pseudoclimax estacional. Otro factor que contribuye a esto, es la falta de lluvias durante esta estación, con lo que los sólidos en suspensión, que normalmente son muy altos durante todo el año, decaen hasta valores medios de  $80 \text{ mg/L}$ , con lo cual la reducción en la turbidez que generan, unido a la menor fuerza de la corriente por caída del caudal durante el estiaje, hace que la luz y la calma necesarias para la reproducción se den la mano y permitan el desarrollo masivo no sólo de algas adheridas sino también de verdadero plancton. La situación llega a ser tal, que a principios del mes de Agosto, en las inmediaciones de la estación 6 llegan a producirse fenómenos de cierta eutrofización, en todo análogos a los que ocurren en las pequeñas piscinas recreativas de la zona.

Los eventos que acaecen cronológicamente son: Ulotrix zonata que había aparecido en la primavera tiene aquí un máximo a principios del verano e inmediatamente comienza a

declinar y, algo similar, aunque un poco despues en el tiempo, va a ocurrir con Synedra, que sin embargo mantiene una representación aceptable durante todo el verano. Las Mitzchias se mantienen debido a los constantes aportes de nitrógeno, se incrementan los niveles de Navícula radio sa, Cocconeis y Melosira y fundamentalmente van a ser Clo rella, Scenedesmus, Caloneis y Oscillatoria los géneros que van a dominar masivamente durante todo el verano.

A partir del vertido de Guadalajara, dos factores son los que más van a pesar en las sustituciones de las poblaciones de microalgas, por un lado el fortísimo aumento en la cantidad de materia orgánica ( $DBO_5$  con valores de 16,3 en la estación 7 y mayores de 30 ppm en la estación 12) cuya dilución es menor que en otras épocas del año debido al mínimo caudal existente, y por otro una serie de fenómenos que de forma sinérgica interaccionan modificando en su conjunto las condiciones de vida de las microalgas. Estos fenómenos son, por un lado el incremento de los niveles de sólidos en suspensión y por ende de la turbidez, y por otro una disminución en general bastante llamativa del co eficiente Nitrógeno/Fósforo por incremento de la concentración de este nutriente por el aporte de los efluentes, así como por su liberación del fondo allí donde el excesivo aumento de la materia orgánica hace que los niveles de oxígeno disuelto decaigan de tal modo que prevalezcan pro cesos de fermentación. Otros factores que contribuyen tam bien son el incremento en 29 ó 39°C de la temperatura del

agua con relación a aguas arriba y una disminución del O. D. por pérdida de turbulencia y solubilidad. Todo ello va a traducirse en que las microalgas predominantes sean las Cianofíceas, algunas Clorofíceas resistentes y unas pocas Diatomeas heterótroficas. Así pues, tras los vertidos más importantes (Guadalajara y Alcalá) (en las estaciones 7 y sobre todo en la 12), los géneros dominantes serán Oscillatoria, Arthrospira, Anabaena y Spirulina entre las Cianofíceas, Closterium, Pediastrum y Euglena entre las Clorofitas (curiosamente Closterium alcanza un máximo en la estación 7, estando descrita una asociación entre los niveles altos de Fe y esta microalga, asociación que no parece cierta en el Sistema pues no encontré subida en los niveles de este metal correlacionados con la abundancia del alga) y Melosira varians y Nitzschia y Synedra entre las Diatomeas, experimentándose disminución en su frecuencia relativa, así como el aumento en la representación de otros géneros también muy resistentes pero menos tolerantes (Ankistrodesmus, Scenedesmus y Cosmarium) allí donde entre vertido y vertido el poder autodepurador del río es capaz de mejorar las condiciones ambientales para las microalgas (estaciones 9 y 10). En los sitios más calmos prosperan Spyrogyra y Zignema.

De todas formas resulta interesante el comparar la diferencia existente entre los fenómenos eutrofizantes que se producen en la estación 6 y aquellos que se dan en las estaciones 7, 12 y 13 pues su naturaleza es totalmente diferente, pues en estas últimas estaciones son las cianofíceas

las que dominan en el proceso.

Si comparamos los valores extremos en O.D. que se dan a lo largo de un mismo día del mes de Julio en las estaciones 6 y 7 tenemos:

|                   |  |   |
|-------------------|--|---|
| <u>Estación 6</u> | O.D. máximo = 12 mg/L<br>(a las 16 h.) | O.D. mínimo = 4mg/L<br>(a las 7 h.)                                   |
|                   | NO <sub>3</sub> = 8,8                  | NO <sub>2</sub> = 0,01 NH <sub>3</sub> = 0,02 PO <sub>4</sub> = 0,365 |
| <u>Estación 7</u> | O.D. máximo = 18 mg/L<br>(a las 16 h.) | O.D. mínimo = 1,8mg/L<br>(a las 7 h.)                                 |
|                   | NO <sub>3</sub> = 7,48                 | NO <sub>2</sub> = 0,031 NH <sub>3</sub> = 0,1 PO <sub>4</sub> = 0,75  |

Estas bruscas variaciones en los niveles de O.D. evidentemente son función de muchos parámetros, ahora bien si tenemos en cuenta que a lo largo del día en cuestión no se produjo ningún fenómeno atmosférico que pudiera alterar las condiciones del Sistema, que las variaciones de temperatura pese a incidir sobre la solubilidad del oxígeno, tampoco puede explicar cambios tan bruscos y por otro lado la relativa similitud de condiciones naturales de las dos estaciones sitas a una distancia menor de 20 Km y con una variación entre ellas de sólo 60 metros de altitud, lo que en realidad tenemos es una imagen aproximada del balance existente entre la Fotosíntesis y la Respiración. (He preferido hacer mediciones en continuo para tener una orientación de lo que en realidad ocurre más que el típico método de la botella para la determinación de la producción primaria, pues en este último al no ser homogénea la distribución ni de las microalgas ni de los microorganismos, los valores obtenidos son extremadamente variables

y sólo nos dan una microrepresentación de lo que en unas condiciones determinadas (en la botella p. ej. el agua no fluye y es sabido que la velocidad de la corriente influencia directamente el metabolismo de algunos seres) acaece, no pudiéndose desde mi punto de vista, extrapolar los da-tos, debido a que en realidad se trata de una "micromues-tra" no representativa y además en condiciones especiales).

Por otra parte, si tenemos en cuenta que las experiencias de numerosos ecólogos que desde los tiempos de Butcher (1.932) hasta nuestros días parecen confirmar que en los procesos de oxigenación del agua, son las microalgas las únicas que juegan un papel importante, pues debido a su pequeño tamaño pueden producir minúsculas burbujas de oxígeno que rápidamente se disuelven en el agua a diferencia de las grandes burbujas producidas por las macrofitas que suben y revientan en superficie, podemos concluir que las variaciones señaladas por los muestreadores en continuo son una buena película aproximativa y orientadora de lo que realmente acaece en el Sistema con el metabolismo de las microalgas.

Así pues en las dos estaciones se producen variaciones bruscas en el O.D. a lo largo del día, variaciones de hasta dos unidades de pH, aumento de la turbidez y olores característicos y sin embargo los procesos que los generan divergen notablemente entre sí y ello es debido fundamentalmente a la fuerte variación experimentada en la rela-ción Nitrógeno/Fósforo que existe entre las dos estacio-nes que selecciona el que sean clorofíceas o cianofíceas

las microalgas dominantes.

En la estación 6 y por efecto de la fotosíntesis, el incremento en los niveles de O.D. estimula la acción de las bacterias nitrificantes, con lo que se produce una aceleración de la mineralización, como muestran los datos físico-químicos en los que aparecen cantidades mínimas de  $\text{NO}_2$  por otra parte, al provocar también el incremento de pH por pérdida de  $\text{CO}_2$  favorece la formación de  $\text{NH}_3$  que asciende hacia la superficie llegando a registrarse valores globales de hasta 0,2 mg/L (esto es conocido desde las ya clásicas experiencias de Cooper (1.937) que demostró que a una temperatura de 18°C para pH = 7,8 y 9,5 la relación  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  es respectivamente 1/300, 1/30 y 1/1) debido a que el  $\text{NH}_3$  se escapa hacia la atmósfera y si tenemos en cuenta que nuestro sistema es poco profundo y que Dugdale (1965) Mendata (1.968), Brezonik (1971) constataron, utilizando  $\text{N}^{15}$ , que es precisamente en la parte superior de la zona fótica en la cual el amoníaco es utilizado por las microalgas de forma preferente, mientras que sólo en las aguas profundas es donde la tasa de asimilación de nitratos es más elevada, podremos hacernos una idea de como las microalgas en esta estación pueden disponer de este nutriente para su síntesis proteica. El Nitrógeno orgánico por su parte, pese a que parece ser tomado más lentamente que el inorgánico (Wheeler y Schill, 1.974), es capaz de proveer de metabolitos y vitaminas que aceleran el crecimiento de las microalgas albauxotrofas y sobre todo de bacterias mucilaginosas capaces de elevar los niveles de  $\text{CO}_2$  y así im-



pedir que la concentración de este gas en la estación llegue a ser limitante.

En las estaciones 7, 12 y 13, el panorama cambia, pues por efecto de la elevación en la  $DBO_5$  los niveles de O.D. alcanzan valores limitantes, mientras que por otra parte la elevación en los niveles de fósforo es ya capaz de afectar a las bacterias nitrificantes con lo que disminuye la velocidad del proceso de mineralización. Aquí el nitrógeno por su parte deja de ser un factor limitante pues las comunidades de microalgas que proliferan son en su mayoría Cianofíceas, las cuales van a presentar adaptaciones que les van a permitir mantener su hegemonía durante el final del verano. Así el poseer vacuolas gaseosas que tienen la pared construida con proteínas insolubles capaces de soportar hasta presiones de 2 atmósferas, confiere a las Cianofíceas un eficaz mecanismo de flotación, precisamente en una estación en la que por efecto de la temperatura el índice de flotabilidad de la mayoría de los seres está bastante disminuído. Este mecanismo, que es incluso explotado para favorecer la dispersión de algunas de estas especies al ser capaces de producir estas vesículas gaseosas en las células reproductoras, va a servir también para que las Cianofitas puedan mantenerse en la interfase agua-atmósfera y allí ser capaces, en sus heterocistos, gracias a sus nitrogenasas, de fijar el nitrógeno atmosférico e incorporarle de inmediato a su síntesis proteica. Por lo tanto, los fosfatos necesarios para los procesos energéticos van a ser utilizados para esta síntesis, pasando este nu-

triente a ser el factor limitante más importante en el control de las poblaciones de Cianofíceas. Por si esto fuera poco, las Cianofíceas triunfan además de por estas adaptaciones, en su competencia con otros tipos de algas, porque son capaces de generar toxinas (polipéptidos cíclicos, alcaloides, geosmina que produce malos olores etc..) que imposibilitan por una parte el crecimiento de otras algas (Tassignay y Lefeure 1.971) así como impiden que los organismos algívoros puedan hacer presa en ellas; esto tambien ayuda a explicar el caracter más puntual que tienen los fenómenos eutrofizantes de la estación 6, en la que tras el boom algal, viene el boom de algunos de sus depredadores y el caracter más crónico de las de las estaciones 7, 12 y 13.

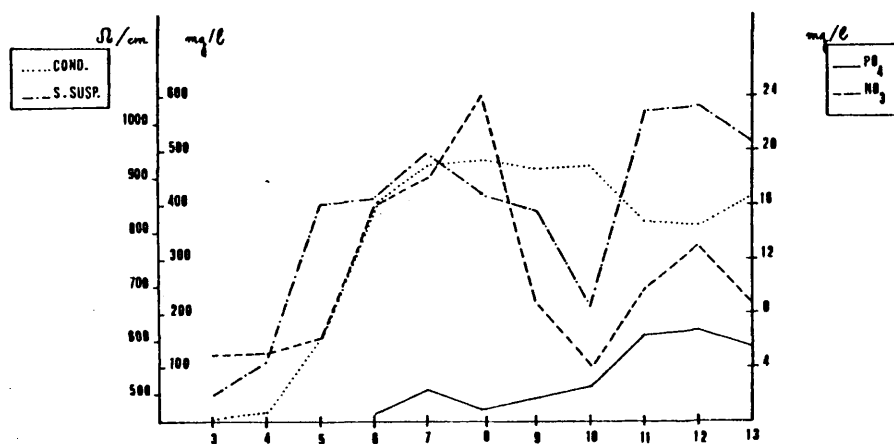
Este panorama subsiste hasta que en Otoño la caída de luz, temperatura y el aumento del caudal cambia lo suficiente las condiciones para que se produzca una nueva sucesión.

#### d) Las microalgas y el Otoño.-

Durante el Otoño volvemos desde el punto de vista de la luz y la temperatura a alcanzar condiciones que recuerdan mucho las de la Primavera, no es pues de extrañar que algunas de las microalgas que entonces dominaban en cuanto a abundancia se refiere, vuelvan ahora a presentar una frecuencia relativa bastante elevada. El "salto" del verano al otoño de todas formas es más gradual que el salto del invierno a la primavera aunque igual de drástico, y así, poco a poco, las Clorofitas y las Cianofíceas van a ceder

lentamente el paso a la casi exclusividad de las diatomeas entre las que de nuevo géneros como Cocconeis, Diatoma y Navícula acompañados de las Melosiras y las Synedras (estas últimas recordemos que eran tambien abundantes en verano) vuelven a ejercer un papel preponderante, volviendo se en su conjunto a homogeneizar bastante la diversidad, pese a no obstante seguir existiendo longitudinalmente diferencias importantes que conviene analizar.

Los factores físico-químicos que he definido como limitantes dan para esta estación los siguientes valores:



Tal vez lo mas llamativo sea el que asistimos a una elevación del balance Nitrogeno/Fósforo por efecto del abonado intensivo que ocurre en verano y a principios de Otoño, y de las lluvias que lavan los suelos aportando gran cantidad de NO<sub>3</sub>. El aumento en el caudal del río aparte de ele

var la velocidad de la corriente y subir por turbulencia los niveles de O.D., ayuda a diluir los contaminantes, experimentando la  $DBO_5$  una sensible bajada pese al aporte de materia orgánica alóctona procedente de la caída otoñal de las hojas y de los arrastres húmicos. La turbidez por efecto de las lluvias vuelve a incrementarse y sí a esto le unimos el progresivo enfriamiento del agua tenemos los factores que explican el declive de Clorofitas y Cianofitas y su sustitución pausada por diatomeas más adaptadas a estas condiciones.

Desde el punto de vista de la zonación horizontal, podemos decir que la transición es muy brusca en las estaciones 3 y 4 en donde en el mes de Noviembre las diatomeas dominantes son ya Navícula, Nitzschia, Gomphonema y Cymbella, mientras que a partir de la estación 5 las cosas ocurren mucho más pausadas. El análisis de la variación de los niveles de O.D. en un día a principios de Noviembre es el que no ocurría ningún fenómeno atmosférico anormal suministró los siguientes datos:

|                    |                                   |                                 |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| <u>Estación 3</u>  | O.D. máximo = 11,00<br>(16 horas) | O.D. mínimo = 10,5<br>(7 horas) |
| <u>Estación 5</u>  | O.D. máximo = 7,5                 | O.D. mínimo = 3                 |
| <u>Estación 7</u>  | O.D. máximo = 5,5                 | O.D. mínimo = 2,5               |
| <u>Estación 13</u> | O.D. máximo = 3,5                 | O.D. mínimo = 1                 |

Siendo la variación máxima en temperatura de 29°C a lo largo del día.

La interpretación es bien significativa, así mientras que en la estación 3 la acción que ejercen las microalgas sobre los niveles de O.D. es mínima (sólo 0,5 ppm) y ello nos da idea de su pobreza en cuanto a abundancia y diversidad, la ejercida en las estaciones 5, 7 y 13 pese a ser sensible es muchísimo mas baja que durante el verano (recordemos que a las 16 horas en la estación 7 se generaban niveles de O.D. de hasta 18 ppm). Ello parece sugerirnos el menor rendimiento absoluto fotosintético de las diatomeas en comparación con las clorofitas; aunque de todas formas el aumento de la turbidez debido a la elevación de los sólidos en suspensión tambien juega un papel importante.

De cara a la estimación indirecta de la biomasa y de los pigmentos fotosintéticos extraídos con acetona al 90% los valores obtenidos en el mes de Noviembre para microalgas epilíticas de las siguientes estaciones dan:

| Estación | $\lambda$ | 430  | 630  | 645   | 663   | 665   | 750  |
|----------|-----------|------|------|-------|-------|-------|------|
| nº 5     |           | 1,61 | 0,17 | 0,175 | 0,665 | 0,68  | 0,01 |
| nº 6     |           | 1,03 | 1,49 | 1,21  | 0,145 | 0,145 | 0,01 |
| nº 7     |           | 0,66 | 0,08 | 0,098 | 0,31  | 0,28  | 0,02 |
| nº 8     |           | 0,64 | 0,09 | 0,19  | 0,32  | 0,31  | 0,02 |

Si a estos valores les aplicamos las clásicas formulas de Talling-Driver para determinar la

$$Cl(a) = 10(11,9 \times D_{665} \times \frac{V}{S}) = mg/m^2$$

Siendo  $V$  = volumen del extracto acetónico

$S$  = Area del sustrato en  $\text{cm}^2$

Así tenemos valores de:

Clorofila a    Estación

|                            |   |                                 |
|----------------------------|---|---------------------------------|
| 71,09                      | 5 |                                 |
| 36,89                      | 7 | Valores que representan bien a  |
| 38,08                      | 8 | comunidades que se extienden en |
| ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) |   | forma de capa muy delgada sobre |
|                            |   | las piedras.                    |

Sin embargo, estos valores absolutos de clorofila a son poco indicativos y más cuando lo que se comparan son algas bentónicas, en las que pese a estandarizar la superficie el volumen puede ser variable, por ello es necesario saber cual es la proporción que la clorofila a juega con relación a los demás pigmentos.

Está admitido que altos valores de clorofila c revelan la abundancia de criptofíceas, dinoflageladas, crisofíceas y diatomeas, mientras que la elevación en los niveles de clorofila b se correlacionan con euglenales y clorofitas, dándose por tanto como indicativo el que existe una relación directa entre el cociente clorofila a (que es común a todos los grupos)/restos de los otros pigmentos con la productividad, siendo ésta más elevada cuanto mayor es el cociente. Para simplificar operaciones, Margalef da como bueno el índice  $D_{430}/D_{665}$  (ya que 665 y 430 son las  $\lambda$  que representan los dos máximos de absorción del espectro

para la clorofila a y el resto de los pigmentos). Este índice solo con un valor orientativo arroja los siguientes resultados:

| Estaciones         | 5   | 6   | 7   | 8   |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| Índice de Margalef | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,0 |

En las estaciones 12 y 13 este índice no da valores ni siquiera orientativos y por eso no están aquí consignados, ello es debido a que la abundante presencia de materia orgánica, libera una gran cantidad de pigmentos detriticos que modifican los valores y por lo tanto su significación.

Esta cierta similitud entre los índices revela que el otoño produce una cierta homogeneización entre la zona comprendida entre las estaciones 5 y 6 y la comprendida entre la 7 y la 8 (recordemos que durante el verano eran completamente diferentes), tanto es así que van a presentar hasta 14 géneros comunes dentro de los que llaman la atención la importancia creciente de *Cocconeis* al comienzo del otoño ó el que progresivamente *Tabellaria*, un género descrito clásicamente como oligotrófico, alcance casi indemne hasta la estación 7.

Las estaciones 9 y 10 son el último reducto del verano, ello es debido a la acción ejercida por la represa de la Oruga y a su inmediata influencia aguas abajo. Aquí en Noviembre, cuando en la mayor parte del Sistema ya han comenzado a declinar, aun tienen una representación impor-

tante las clorofitas resistentes, entre ellas Euglena y Closterium y las Cianofíceas.

En las estaciones 11, 12 y 13 donde la polución orgánica es mayor, también subsisten las Cianofíceas con la preponderancia de Oscillatoria y en cuanto a las Diatomeas ya no será Cocconeis el género dominante sino Melosira, Nitzschia y Synedra.

A medida que las condiciones "empeoran" para las microalgas y va acercándose el invierno, Navícula y posteriormente Diatoma serán los géneros que ejerzan la dominancia. El Sistema vuelve a homogeneizarse en cierta medida por reducción tanto de la diversidad como de la abundancia absolutas. El ciclo está listo para comenzar de nuevo...

#### Conclusiones.-

Una vez estudiado el ciclo estacional de las microalgas así como sus variaciones en diversidad y abundancia a lo largo del espacio-tiempo puede pasarse a una valoración global de la tabla de resultados obtenidos.

Esta variación global es indispensable dadas las grandes variaciones estacionales observadas dentro del equilibrio existente entre las tendencias "homogeneizadoras" (máximo en Invierno con la reducción de la abundancia y la diversidad absolutas) y las "heterogeneizadoras" (máximo en verano con el aumento de la abundancia y la diversidad absolutas). Así podemos distinguir en el Sistema las siguientes zonas:



Zona I..- Formada por las estaciones 3 y 4 en el río Sorbe en las que a lo largo del año el agua es relativamente pobre en nutrientes lo que origina que ni la diversidad, ni la abundancia pese a tratarse de aguas limpias, sean elevadas. Las microalgas dominantes son sin duda las diatomeas autotrófas. Las aguas de esta zona basculan a lo largo del año de oligo a mesotróficas.

Zona II..- Formada por las estaciones 5 y 6, ya pertenecientes al río Henares, más rico en nutrientes. En ellas el enriquecimiento moderado del medio permite un fuerte aumento tanto de la diversidad como de la abundancia, sin embargo este aumento se ve limitado por la fuerte turbidez que lleva el río durante algunas estaciones. Las microalgas dominantes son diatomeas de todas clases, fundamentalmente autotrofas y heterótrofas facultativas y a finales de primavera-verano y principios de otoño les acompañan Clorofíceas. En verano, si las condiciones lo permiten (p. ej. falta de lluvias) se producen fenómenos puntuales de eutrofización. Las aguas de esta zona basculan de mesotróficas a eutróficas a lo largo del año.

Zona III..- Formada por las estaciones 7 y 8. Fuerte enriquecimiento en nutrientes y materia orgánica procedente de los vertidos de aguas negras de Guadalajara y sus polígonos industriales adyacentes. En general asistimos a una pérdida de diversidad y a un aumento de la abundancia de las especies heterótrofas facultativas y heterótrofas estrictas. En verano también se producen fenómenos de eutrofización con predominio de Cianofíceas. Casi todas las mi

croalgas encontradas corresponden a las características de aguas muy eutróficas. Las aguas de esta zona que no bajan nunca de  $750 \mu\Omega/\text{cm}$  pueden considerarse eutróficas y constituyen la primera frontera para las microalgas menos tolerantes con la contaminación.

Zona IV..- Formada por las estaciones 9 y 10. En ella se produce una mejora de calidad del agua por efecto de la autodepuración del río. Por otra parte la represa facilita que el "verdadero plancton" pueda ser mucho más abundante, con lo que podemos decir que la estación 9 constituye un reservorio natural de microalgas flotantes que ejerce su influencia considerable pero decreciente hacia aguas abajo en la estación 10. La conductividad de todas formas es muy alta a lo largo de todo el año y las especies que predominan son eurihalinas heterótrofas facultativas. En general asistimos a un nuevo aumento en la diversidad y en la abundancia, tanto para diatomeas como clorofitas, con una cierta disminución en la frecuencia relativa de las heterótrofas estrictas. De todas formas en verano, aunque menos abundantes que en otras estaciones están siempre representadas las Cianofíceas.

Zona V..- Formada por las estaciones 11, 12 y 13. Sus características son los permanentemente altos niveles de  $\text{DBO}_5$  y de la conductividad. Las especies predominantes son eurihalinas, oscilando desde diatomeas resistentes a la contaminación orgánica hasta cianofíceas. Clorofitas muy resistentes como Pediastrum presentan grandes daños en sus clo

roplastos; otras clorofitas euri del tipo de Spyrogira, Zignema, Succenedesmus y Cosmarium e incluso Euglena tampoco pueden superar esta barrera. En general predominan los heterótrofos estrictos, asistiendo paulatinamente desde una disminución global de la diversidad y un aumento en la abundancia de estas pocas especies (estación 11) a un declive global tanto en abundancia como en diversidad, debido a la polución compleja que impide que las algas resistentes puedan utilizar el exceso de nutrientes frenando los vertidos tóxicos su crecimiento. (estación 12) salvo para Oscillatoria, con una lenta recuperación de nuevo en la abundancia (estación 13) de diatomeas muy resistentes tipo de la Nitzschia palea y la Melosira.

En general se puede concluir que el estudio de las microalgas se revela bastante interesante pues:

1º) Permite discriminar fácilmente entre aguas oligo-meso y eutróficas.

2º) Aún incluso dentro de las aguas eutróficas, el estudio anual detallado de lo que acontece en el Sistema permite apreciar una estratificación horizontal, más marcada en verano, de la población de las microalgas, con diferencias apreciables tanto en diversidad (selección de especies más resistentes a medida que la contaminación es mayor) como en la abundancia (variación en las frecuencias relativas entre autótrofas, heterótrofas facultativas y heterótrofas estrictas). El estudio de la variación de estas poblaciones, dado que su existencia es una respuesta adap

tativa a una mejor utilización de la energía y de la mate  
ria en el cambio de condiciones ambientales constituye una  
fuente de conocimientos complementarios que nos permite a  
grupar situaciones que en principio pueden parecer dife-  
rentes, así como discriminar puntos que por otros análisis  
nos parecían similares. Todo ello contribuye a desenredar  
el terrible nudo gordiano que constituye el ecosistema  
rfo.

### Zooplankton =====

Al tratarse el Sistema fundamentalmente, salvo en su último tramo, de un ecosistema de rhithron, la velocidad de la corriente va a condicionar severamente la existencia del zooplankton. Si ya al analizar las microalgas veíamos que "verdaderamente planctónicas" realmente sólo había unas pocas especies que estaban limitadas a unas determinadas condiciones feno-espaciales, fácil es comprender que esa falta de abundancia de los productores primarios sea un factor determinante para explicar la pobreza encontrada en el zooplankton.

Tanto es así que en las primeras estaciones del Sistema realmente no encontramos verdadero zooplankton, siendo los únicos individuos que caen en la red algunos Protozoos y Rotíferos pertenecientes a formas perifíticas psámicas ó bénticas que caen al agua por la acción del "lavado" de sus sustratos o se lanzan a ella, cuando ésta les ofrece suficiente comida. Este tipo de organismos "ocasionales" aumenta en otoño con la caída de las hojas y en él predominan Amébidos y algunos Ciliados, así como unos pocos Rotíferos, pero realmente su presencia, como agentes foráneos que son, no puede relacionarse con un nivel de calidad de las aguas. Salvo *Diffugia* y *Mastigamoeba* entre las amebas, alguna *Strombilidae*, los ciliados clásicos (*Paramecium*, *Stylonichia*, *Colpidium* etc) y unos pocos rotíferos en la corriente principal no parece existir nada que no sea proveniente de otros ambientes que poco tienen que ver con la gran masa de agua circulante.

Por eso ceñiré la tabla de resultados a la estación nº9 que es donde empieza el epipotamon, explicando en el texto que es lo que ocurre en las estaciones de aguas arriba cuando merezca la pena resaltarlo.

| <u>Flagelados</u>       | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------------|---|----|----|----|----|
| Phacus                  | X | X  | X  |    |    |
| Peranema                | X |    |    |    |    |
| Euglena                 | X | X  | X  |    |    |
| Volvocales              | X |    | X  |    |    |
| <u>Ciliados</u>         |   |    |    |    |    |
| Vorticella              | X |    | X  | X  | X  |
| Stylonichia             |   | X  |    | X  |    |
| Colpidium               |   | X  |    | X  | X  |
| Lionotus                |   | X  |    | X  | X  |
| Chilodonella            |   | X  | X  |    |    |
| Stentor                 |   |    | X  | X  |    |
| Paramecium              |   |    | X  | X  | X  |
| Aspidisca               |   |    | X  |    |    |
| Uronema                 |   | X  |    |    |    |
| Euplotes                |   |    |    | X  |    |
| Carchesium              |   |    |    | X  |    |
| <u>Gastrotricos</u>     |   | X  |    |    |    |
| Amoebas                 |   | X  |    |    |    |
| <u>Rotíferos</u>        |   |    |    |    |    |
| Brachionus              |   |    | X  |    | X  |
| Philodina<br>(corotani) |   | X  |    | X  |    |

|                   | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------|---|----|----|----|----|
| Rotaria           |   | X  |    | X  |    |
| Keratella         |   | X  |    |    |    |
| Proales           |   | X  | X  |    |    |
| Eosphora          |   |    |    | X  |    |
| Trichocerca       |   |    |    | X  |    |
| Rattus            |   |    |    | X  |    |
| Hydatina senta    |   |    |    | X  |    |
| Synchaeta         |   |    |    | X  |    |
| Squatinella       |   |    |    |    |    |
| Rhinoqlena        |   |    |    |    |    |
| <u>Nematodos</u>  |   |    |    |    |    |
| Diplogasteroides  |   |    | X  | X  |    |
| <u>Crustáceos</u> |   |    |    |    |    |
| Dafnia magna      |   |    |    | X  |    |
| Ciclops           | X |    | X  | X  |    |
| Ostracoda         | X |    |    |    |    |
| Larvas Nauplius   | X |    |    |    |    |
| Larvas Ciclops    | X |    |    |    |    |
| Zoeas, Promisis   | X |    |    |    |    |
| y Mysis           |   | X  |    |    |    |

Como en el caso del fitoplancton, para poder analizar a fondo su significación hay que situar estos datos en el tiempo y en el espacio.

El primer marco de referencia lo tendremos que hacer con relación a aquellas sustancias y seres que constituyen su

espectro alimentario y por lo tanto son factores que regulan en primer lugar su existencia. Naturalmente este espectro varía de unas especies a otras, oscilando hasta valores tan extremos como los de los Cladoceros, que son capaces de consumir tripton (partículas en suspensión), bacterias, algas protozoos e incluso compuestos orgánicos en solución coloidal. En general la mayoría necesita de una dieta variada integrada por bacterias, algas y tripton.

En el Sistema, lo primero que llama la atención es que los Flagelados Heterótrofos, capaces de absorber directamente los compuestos orgánicos en solución o de fagocitar directamente las partículas de materia orgánica y las bacterias, salvo en la estación 9, no aparecen en la cantidad que podría esperarse. Ello puede ser debido a dos cosas: 1º) En los modelos clásicos de autodepuración está escrito que estos organismos colonizan casi con exclusividad la zona inmediata a los vertidos de materia orgánica, allí donde no pueden prosperar, debido a las pésimas condiciones, otro tipo de organismos. Pues bien, podría haber ocurrido que esta zona en el Sistema sea muy estrecha y que por lo tanto a la hora de muestrear realmente esté muestreando la zona justo adyacente a la de los Flagelados, que es precisamente la de los Ciliados; o podría también, que es por lo que yo me inclino, que por no tratarse de un solo vertido sino de varios escalonados, la zonación clásica establecida en los modelos de autodepuración aparece mezclada, pues un vertido sucede a otro cuando aún no ha tenido tiempo el primero de autodepurarse, con lo que la zona de los flage-



lados entra en contacto más íntimo con la de los Ciliados, muchos de los cuales también son feroces depredadores de Flagelados. Otra segunda explicación, que tal vez contribuya a entender su bajo número es que al ser relativamente "activos" nadadores (al menos en el sentido de poder controlar mejor que otros seres el movimiento vertical) y como el estudio está hecho sobre organismos vivos con el microscopio invertido utilizando cámaras de sedimentación de 5 ml, pese a activar ésta con unas gotas de detergente, de hecho ocurre, que tardan más que el resto de los otros seres en sedimentar (si es que llegan a caer todos) con lo que la frecuencia relativa encontrada puede no corresponder bien con la realidad. Es llamativo también la fuerte preponderancia de las formas Euglenales sobre las Volvocales.

Por su parte, los Ciliados, al ser seres que se alimentan de bacterias, así como muchos amébidos, están presentes a lo largo del año en el Sistema, variando la densidad de sus poblaciones en función de la variación en el número de bacterias. Aquí observamos un fenómeno curioso si comparamos lo que ocurre entre las estaciones 3, 4 y 5 y las sitas aguas abajo de la estación 6. Así en Invierno crece el número de Ciliados y amoebas en las estaciones 3, 4 y 5, mientras que decrece en todas las demás y sin embargo en verano ocurre el fenómeno inverso, decrecen los protozoos en las estaciones de aguas más limpias y sin embargo crecen en las contaminadas. La explicación nos viene suministrada por el doble origen que tienen las bacterias en

el Sistema, así en invierno por acción de los "lavados" se incrementa el número de bacterias procedentes del suelo, mientras que disminuye por mayor dilución el número de las de origen fecal. Allí donde las aguas no reciben residuos fecales suficientes es el incremento de bacterias del suelo el responsable del aumento del número de Protozoos, así como la mayor dilución de las de origen fecal es la causa de su disminución cuantitativa.

Los Rotíferos (salvo los Bdelloideos que son capaces de mantenerse con una dieta exclusivamente bacteriana y de materia orgánica), necesitan alimentarse también de microalgas, ello hace que sus poblaciones, si bien también presentes durante todo el año, están muy reducidas hasta Junio que es cuando empieza verdaderamente el desarrollo masivo del fitoplancton en el Sistema, pudiendo entonces apreciarse una proliferación fulgurante de estos organismos algívoros, que en aquellos puntos en los que las condiciones son buenas reducen lo suficiente las poblaciones de microalgas para que las variaciones de pH originadas por la fotosíntesis se mitiguen y así posibilitan el que otros seres menos tolerantes, como los Cladoceros p. ej., puedan establecerse.

Con relación a los Crustáceos, estos al ocupar eslabones superiores en las redes tróficas (Cyclops es un depredador muy activo y Dafnia un gran filtrador) para proliferar necesitan de la abundancia de todo aquello que constituye su base trófica, así como de ciertas condiciones ambientales (p. ej. Dafnia es muy sensible a fuertes variaciones

de pH, a niveles relativamente bajos de  $\text{NH}_3$ , a una corriente de una velocidad aproximada de sólo unos cuantos mm/sg a ciertos productos secundarios del metabolismo de ciertas especies algales etc...). Todo ello condiciona su aparición, al menos con una abundancia apreciable sólo durante el verano que es la estación en la que el fitoplancton alcanza su máxima abundancia y diversidad.

Con estos elementos podemos tener ya una pequeña idea de como, paralelamente a la variación cíclica del fitoplancton se produce también y ligada con ella una sucesión, sólo que más limitada, de las comunidades zooplanctónicas. La secuencia de lo que acontece es como sigue:

A) Durante el invierno, cuando las únicas microalgas presentes son Diatomeas, el zooplancton está integrado casi exclusivamente por Ciliados y Amébidos, oscilando su abundancia en función de la cantidad de materia orgánica y del origen de ésta. Así en las estaciones 3, 4 y 5 en las que predomina la materia orgánica vegetal a la fecal, parece que Mastigamoeba está favorecida sobre otras formas, mientras que en las estaciones 7, 11, 12 y 13, que se caracterizan por el predominio de la materia orgánica de origen fecal son los Ciliados los dominantes. En los muestreos aparecen escasos Rotíferos, lo que da idea de su baja abundancia. En las estaciones 3, 4 y 5 aparece Rhinoglena lo que confirma su carácter estenotermo, mientras que en las otras, los pocos rotíferos presentes son Bdelloideos. Los Nematodos están presentes siempre a partir de la estación 9. Así pues, resumiendo, el invierno en el Sistema impli

ca un zooplancton muy reducido y las únicas variaciones espaciales registradas en las distintas estaciones se refieren más bien a cambios en la abundancia fundamentalmente, y menos en la diversidad de Ciliados, a la proliferación o no de Amébios y a la sustitución de unas pocas especies de Rotíferos (en nuestro caso Rhinoglena y Squatinella (?)) por otros Bdelloideos más resistentes.

B) Durante la Primavera, el enriquecimiento de las microalgas estimula la producción de algunos seres del zooplancton, entre éstos destaca el incremento en la abundancia y la diversidad de los Rotíferos y el desarrollo de algunos Crustáceos, tales como Ostracodos (Cypridopsis) en la estación 7 y Ciclops que al ser detritívoros, bacteriofagos y degustadores de Diatomeas experimentan también una subida bastante espectacular durante esta estación. Aún no están presentes los Cladoceros, pero ya podemos distinguir una cierta zonación horizontal a lo largo del Sistema caracterizada además de por la variación en la abundancia y diversidad de Ciliados que se corresponde bien con los valores de  $DBO_5$ , como ocurría en invierno, por la relación Ciliados/Rotíferos y por la zonación que éstos comienzan a mostrar entre los Monogonontos (Brachionus y Keratella) que parecen ocupar aguas ciertamente eutrofizadas pero más limpias y entre los Bdelloideos (Philodina principalmente) que soportan bien las aguas con una fuerte carga de materia orgánica.

C) Es el verano la estación fenológica que permite en el Sistema, al igual que ocurre con las microalgas, el máximo

desarrollo del zooplancton, de tal forma que la significación de su estudio es es esta época cuando adquiere su verdadera dimensión y por eso debe tratarse con cierto detalle. Así hay que señalar:

La luz y la temperatura han hecho proliferar al fitoplancton y la materia orgánica (fundamentalmente de origen fecal) se encuentra más concentrada debido al mínimo caudal, todo ello se traduce en una disponibilidad excepcional de nutrientes que permite sustentar un zooplancton completo, sin embargo, las características propias inducidas por la contaminación en cada estación van a hacer que este edificio evolucione de una forma u otra de tal modo que van a observarse variaciones muy apreciables en cuanto al edificio trófico planctónico formado simplícadamente por Productores (microalgas y bacterias), Consumidores de primer orden (Protozoos), consumidores de segundo orden (Rotíferos y Crustáceos)

En las primeras estaciones y hasta la estación nº 9, pese a ser mínimo el caudal, la velocidad de la corriente es suficiente para hacer que la mayoría del zooplancton tenga que concentrarse en las orillas y evitar el centro del río y aún así, salvo en remansos, no podemos encontrar microcrustáceos variando el zooplancton de la siguiente manera:

En la estación nº 5, existe un predominio de Rotíferos Mogonontos acompañados de Amoebas y unos pocos Ciliados. En la estación nº 6, a los Rotíferos anteriores se les a-

ñade un buen número de Ciliados que testimonian el enriquecimiento en materia orgánica. En los remansos proliferan ya algunos Entomostráceos que sin embargo nunca abundan pues son presa favorita de los peces micrófagos muy abundantes en esta estación.

En la estación nº 7, la fuerte subida experimentada por la  $DBO_5$  y su impacto sobre las poblaciones de microalgas hace que se encuentren favorecidos sus depredadores unicelulares y metazoicos, tanto es así que a lo largo asistimos a un enriquecimiento tanto en la diversidad como en la abundancia de Ciliados y microcrustáceos con detrimento en el número de Rotíferos. Este no es un hecho simple y debe ser explicado. Por un lado la proliferación de microalgas de principios de verano estimula el incremento en el número de los Rotíferos, entre los que abundan Brachionus (posiblemente B. calyciflorus), Philodina y Rotaria (todos ellos muy resistentes a la contaminación orgánica) de los Ostracodos y también de los Cyclops que encuentran caza suficiente para proliferar, y todos ellos consumen algas con lo que las fuertes variaciones en O.D., así como las variaciones de pH inducidas por fotosíntesis durante el mes de Julio, van siendo cada vez menores, permitiendo el que al final del verano puedan asentarse poblaciones de Daphnia magna, especie también muy resistente a la contaminación orgánica (su color rojo tal vez sea como en el caso de Chironomus thummi debido a la hemoglobina ó a otro pigmento respiratorio que le permite resistir bien en estos hábitats). Asentadas estas poblaciones pronto comienza la competencia con los rotíferos filtrantes y pese a

que las aguas eutrofizadas por el continuo aporte de nutrientes procedentes de los vertidos de Guadalajara suministran alimento en superabundancia, lo cierto es que Dafnia magna acaba mermando las poblaciones de Rotíferos, que alcanzan en esta estación valores mucho más bajos que en la 6 y la 9.

Un factor clave que contribuye a esta merma, es que en la zona adyacentes aguas abajo de los vertidos en verano, los niveles de O.D. llegan a alcanzar valores muy bajos por efecto de la contaminación orgánica, así como el incremento en productos de descomposición y de toxinas bacterianas hacen que los peces micrófagos (Ciprinus carpio) que en teoría podrían vivir hasta la estación 7 donde ya es prtente cierta autodepuración y que podrían limitar las poblaciones de este Cladocero, eviten estas aguas. Asistimos pues, a la paradoja de la reducción de un grupo de consumidores de segundo orden cuya proliferación ayudó a crear las condiciones ambientales para que pudieran vivir los competidores que habrían de acabar con ellos. Aparte de eso, podemos decir que las grandes poblaciones de Dafnia magna en un río pueden ser un síntoma de fuerte contaminación orgánica.

En la estación 8, el poder autodepurador del río posibilita el que algunos peces puedan vivir en esas aguas y al mismo tiempo un pequeño incremento en la cantidad de microalgas, ello se va a traducir en que las poblaciones de Cladoceros comienzan a ser mermadas con lo cual vuelven a proliferar poco a poco los Rotíferos. Los ciliados también

pierden algo su importancia, aunque su número sigue permaneciendo bastante alto.

En la estación 9, por efecto de la represa de la Oruga, se dimenta buena parte de los sólidos en suspensión y las aguas mas calmas posibilitan el incremento del verdadero plancton, las aguas tambien eutróficas pero más limpias de materia orgánica, albergan gran cantidad de peces. El zooplancton consecuentemente con las poblaciones de microalgas está formado por Flagelados verdes, Ciliados aunque en mucha menor proporción, dentro de los cuales el predominio de *Vorticella* testimonia que pese a la autodepuración aún existe bastante materia orgánica, Rotíferos muy abundantes y diversos, entre ellos *Keratella* que parece estar allí acantonada debido tal vez a que sus largas espinas le hagan competir desfavorablemente fuera de las aguas calmas de la represa, y Copepodos, faltando los Cladoceros (aunque no sus nauplius) posiblemente por la fuerte depredación que sufren por parte de los peces que en cierta medida y debido a la polución se encuentran en verano allí y en la estación 10 acantonados.

En efecto, la existencia de Nauplius de Cladoceros, Zonas de Atiido y Nauplius de Copépodo testimonian que las condiciones ambientales de la estación 9 son buenas para la proliferación de estos crustáceos y que son los peces los que al consumir a los mayores (*Dafnia*) favorecen indirectamente a los menores (Rotíferos), con lo cual tambien indirectamente van a resultar favorecidas las clorofíceas,



que al estar sometidas a una depredación más ligera, van a poder aumentar tanto en abundancia como en diversidad.

En la estación 10, nos encontramos con un agua todavía más autodepurada tras la sedimentación de la represa y la reaeración subsiguiente, la  $DBO_5$  experimenta una notable baja y el fitoplancton de la estación 9 influencia por arrastre al de la estación 10. Ante ello nos encontramos que los Ciliados vuelven a aumentar en diversidad y a decrecer en cuanto abundancia, los Rotíferos siguen siendo los organismos preponderantes, entre ellos aparece *Proa-*les que posiblemente tenga un origen psámico. Se encuentran también numerosos Gastrotricos. La mayor fuerza de la corriente en esta estación restringe a los Ciclops y a los Cladoceros a las orillas.

A partir de aquí y hasta la estación 11, tres vertidos sucesivos de aguas negras procedentes de Alcalá van a ir mermando la calidad del zooplancton, así los crustáceos son los primeros en experimentar una fuerte regresión (los únicos que persisten son nauplius de Copépodo), paralelamente se va incrementando el número de Rotíferos Bdelloideos (fundamentalmente de *Philodinas* y *Rotarias*) y de *Brachionus* resistentes a la materia orgánica, así como va disminuyendo la diversidad de los Protozoos con un notable aumento de la abundancia de los ciliados. La situación se va degradando paulatinamente por la acción de los vertidos y así en la estación 11 la relación entre Metazoarios/Protozoos es bajísima, estando prácticamente todo el zooplancton formado por una gran variedad y abundancia de Proto-

zoos ciliados, algunos flagelados y unos pocos pero abundantes Rotíferos Bdelloideos.

En la estación 12, y justo antes del vertido de Zanussi, son los Ciliados ya los organismos totalmente dominantes y entre ellos los inmensos Lionotus, los Euplotes y los Paramecium son los más abundantes y están acompañados sólo por cuatro tipos de Rotíferos: Philodinas y Rotaria como siempre acompañadas por Trichocerca y Epiphanes. En esta estación, en donde la  $DBU_5$  alcanza su valor más alto, vuelven a proliferar a finales de verano y en los remansos y orillas, grandes poblaciones de Dafnia magna, debido a la total ausencia de sus depredadores, poblaciones cuyo alimento principal deben constituirlo bacterias, ciliados; Melosiras, oscillatorias y anabaenas que son las microalgas predominantes. En esta estación durante todo el año también son muy abundantes los Nematodos, al menos de dos tipos diferentes (unos tipo Diplogasteroides).

En la estación 13, a la contaminación orgánica le añadimos un fuerte vertido de origen industrial y antibiótico, con lo que la polución deviene eminentemente compleja, lo que contribuye a mermar algunas de las especies más sensibles a esos vertidos tóxicos sin incorporar mayor cantidad de recursos alimentarios, por lo que las especies más tolerantes no pueden prosperar incrementando su abundancia pese a la fuerte reducción de la competencia inducida. Por lo tanto, en el zooplancton lo que vamos a encontrar es una pérdida general de la diversidad, que en ningún momento viene acompañada de un aumento de la abundancia de las es

pecies resistentes (esta es la principal diferencia entre lo que ocurre en las estaciones 11 y 12 y la 13). Así los Flagelados parecen sufrir fuertemente el impacto de este tipo de contaminación y no se captura ninguno, los Ciliados quedan reducidos a Vorticella, Colpidium, Lionotus y Paramecium, cuya abundancia disminuye también (tal vez por los efectos de los vertidos de antibióticos sobre las poblaciones de bacterias), entre los Rotíferos sólo Rotaria y Philodina aparecen en las capturas y desde luego las grandes Dafnias desaparecen totalmente.

D) Durante el Otoño : Paralelamente al progresivo eclipse de clorofitas y cianofíceas y a su substitución por diatomeas, las poblaciones zooplanctónicas también comienzan a declinar pausadamente y así vuelven a homogeneizarse por reducción. La caída de temperatura y la disminución de parte del alimento potencial hace que sean los Cladoceros los primeros en desaparecer. Por otra parte la venida de las primeras lluvias y la caída de las hojas generan varios fenómenos que afectan directa e indirectamente al zooplancton, entre ellos parece ser que el incremento de los sólidos en suspensión arrastrados por las lluvias, aparte de golpear y "revolver" a los organismos menos móviles, estimula de tal forma el ritmo de filtración tanto de Copépodos y Cladoceros, como de Ciliados y Rotíferos, (como demostró elegantemente Cairns (1.972)), que las partículas ingeridas no tienen tiempo para ser digeridas y asimiladas eficazmente. A estos efectos hay que añadirles los generados por el aumento del caudal (es decir, el aumento de la

velocidad de la corriente) y el incremento de organismos "ocasionales" procedentes del lavado y de los aportes húmicos generados así como de la caída directa de las hojas.

La relación Metazoarios/Protozoarios disminuye progresivamente y el tandem abundancia-diversidad pasa a semejarse al de Primavera, sólo que con signo inverso, dada la tendencia progresiva a la reducción general del zooplancton que acabará caracterizando al invierno.

Como conclusión balance del estudio del zooplancton diré que lo considero muy interesante para analizar los impactos de la contaminación en las redes tróficas del ecosistema pero fundamentalmente en el verano (por ser la estación fenológica en la que realmente juega un cierto papel de importancia en el ecosistema, dado que es cuando es lo suficientemente diverso y abundante) y sólo a partir del epipotamon (que es la zona donde realmente la velocidad de la corriente permite el que pueda generarse). Este estudio desde mi punto de vista, debe estar centrado en la contemplación complementaria de dos tipos de análisis: por un lado en ver como evoluciona el cociente relativo Metazoarios/Protozoarios y por el otro el estudio de la abundancia-diversidad de las especies presentes, haciendo particular hincapié en la caracterización de aquellas que ya tienen una valencia probada como bioindicadores de tal o cual tipo de contaminación; sólo así (y naturalmente complementado con bioensayos en los casos en los que se ignore a ciencia cierta la acción de tal ó cual polucionante sobre el plancton) se puede comprender la compleja resul-

tante inducida por los contaminantes directa o indirectamente en el sentido de originar profundas modificaciones en las interacciones bióticas.

Así las poblaciones del zooplancton van a reflejar bien en sí mismas el impacto ejercido por los polucionantes en dos niveles: uno directo causado por el simple efecto de "baño" con el contaminante y otro indirecto "trófico" que les viene de alimentarse con el fitoplancton concentrador de polución. Al ocupar un nivel bastante bajo en los peldaños de las redes tróficas, el impacto de este tipo de poblaciones puede modificar en cierta medida la arquitectura de los eslabones más altos. Por otra parte las poblaciones zooplanctónicas van a poder reflejar bien la acción de los contaminantes sobre los eslabones superiores y en este sentido la desaparición inducida por la contaminación de ciertos organismos depredadores se traduce en alteraciones de los equilibrios biológicos existentes, modificándose, no sólo la regulación del ecosistema sino también las relaciones de competitividad, de tal modo que las asociaciones zooplanctónicas pueden llegar a jugar un papel mucho más importante que el que en teoría les corresponde desempeñar en el ecosistema río.

Bibliografía.-

- Angeli, N (1.976)  
Influence de la pollution des eaux sur les elements  
du plancton en la pollution des eaux continentals.  
Ed. Gautier-Villar.
- Angeli, N (1.976)  
Utilisation des algues bentiques comme indicateurs  
biologiques de la qualité des eaux courantes.  
Ed. Gautier Villar, I tomo.
- Atlas de microscopie des eaux douces (1.977) Ed. Cheva-  
lier, París.
- Bourrelli, (1.972)  
Las algas de agua dulce. 3 vols. Ed. N. Boubeé.
- Margalef, R.  
Los organismos indicadores en Limnología.
- Margalef, R. (1.955)  
Los Crustáceos de agua dulce. Instituto Forestal de  
investigación y experiencia.
- Mayland, P. (1.978)  
Fresh Water Biology. Blackie Glasgow and London.
- Palmer, Mervin C. (1.962)  
Algas. Ed. interamericana
- Prescott, G.W. (1.964)  
How to know the algae. Pictured Key Mature Series.

#### Musgos y Macrófitas acuáticas

Cuando leí el artículo de J.R. Wattez "Las briofitas acuáticas y subacuáticas, bioindicadores de la polución de las aguas dulces" (1.975), me sentí tentado de limitar esta parte del trabajo únicamente a la investigación de los musgos del Sistema, pues eran muchas las ventajas que teóricamente parecían derivarse de este tipo de estudio. Entre ellas, tal vez la principal, es que no están limitadas estacionalmente como ocurre con casi todas las macrofitas, sino que su presencia es constante a lo largo de todo el año, con lo que además de poderlas encontrar en cualquier época, su ciclo de vida largo las permite integrar la variación de los parámetros físico-químicos durante un tiempo lo suficientemente significativo como para permitirnos apreciar el impacto crónico de los diversos polucionantes sobre sus comunidades. Aparentemente encontramos en las aguas dulces un bioindicador "panacea", que parecía jugar el mismo papel que desempeñan los líquenes de cara a la estimación de la contaminación atmosférica. Por otra parte la única condición limitante que se describe generalmente para los musgos en los ríos, es la necesidad de un sustrato sólido al cual puedan fijarse fuertemente, ¡y en qué río no hay puentes de piedra sólidos!. Por otra parte, las Briofitas poseen la propiedad de acumular en sus tejidos diversos polucionantes, particularmente metales pesados, con lo cual actúan también como marcadores históricos, permitiéndonos analizarlos, tener una idea de cuales son los metales que de-

bemos buscar en las aguas con técnicas más finas y costosas. Esta propiedad les permite también incorporar estos metales a las cadenas tróficas, porque son bastantes los insectos, entre ellos los Nemouridae y muchos Tricópteros que utilizan los musgos como fuente alimenticia.

La realidad, en el Sistema Sorbe-Henares, resultó decepcionante, los musgos desaparecen a partir de la estación nº 3 y sólo se les reencuentra muy ocasionalmente en la estación 5 y precisamente allí donde hay rápidos por estrechamiento del cauce. En todas las demás estaciones, pese a la exploración minuciosa de las piedras de los puentes, no aparecen rastros de comunidades acuáticas ó subacuáticas. ¿Que es lo que tiene el Sistema Sorbe-Henares que impide la proliferación de los musgos y por tanto la utilización de índices de desarrollo análogos a los obtenidos por Empain en los ríos como la Sambre (Belgica) y la Somme (Francia)? A esto intentaré contestar analizando los musgos más abundantes existentes en el Sistema y procurando explicar lo que pienso son sus factores limitantes.

Tres son los géneros de musgos más abundantes en las estaciones muestreadas: Fontinalis, Hypnum y Cinclidotus. Al primero lo encontramos en la estación nº 1, al 2º en la 2 y al 3º en la 3. Todos ellos sin embargo, pese a colonizar aguas con una composición físico-química diferente, presentan una serie de hechos en común que nos va a informar sobre sus condiciones limitantes. La 1ª es la necesidad de un sustrato sólido al cual poderse asir f́e



reamente, esto hace que los musgos puedan prosperar mucho mejor allí donde el substrato está formado por rocas resistentes, es decir aquellas partes del río en las cuales la granulometría es mayor, esto nos indica pues que las partes altas de los ríos están mejor dotadas para que sobre ellas puedan vivir los musgos. Pero con ser esta condición importante, es necesaria pero no suficiente, pues allí donde río abajo existen substratos duros (puentes, presas etc.) no aparecen musgos, ello es debido a que en realidad lo que parecen necesitar estos seres es velocidad en la corriente y que el substrato resistente no es más que el medio que precisan para gozar de dicha velocidad sin ser arrastrados. Parece pues que la verdadera condición limitante, al menos en el Sistema para los musgos es que son reófilos estrictos y de aquí el que estén limitados sólo a las tres primeras estaciones y a los escasos rápidos que tienen lugar posteriormente aguas abajo. Indagando sobre qué ventajas pudiera reportar esta reofilia parece que son dos muy importantes: una de ellas de origen meramente físico y es que los musgos necesitan medrar en un substrato en donde no se depositen las partículas de barro que impidan por turbidez su fotosíntesis, con lo que la fuerza de la corriente garantiza el lavado continuo impidiendo este acumulo manteniendo siempre "limpios" los cloroplastos. Ahora bien, esta limitación de los musgos no puede deslindarse de otra característica fisiológica que constituye por sí misma un verdadero problema y es que como ya demostró Rultner (1.963) los musgos, a diferencia de las macrófitas, son incapaces de fotosinteti

zar los iones bicarbonato del agua, esto quiere decir que para poder realizar la fotosíntesis los musgos necesitan que exista abundante  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua (Entz (1961) sugiere que para que un río sea rico en musgos necesita al menos una concentración de 12 mg/litro de  $\text{CO}_2$ ). Así pues los musgos no pueden prosperar donde hay depósitos de limo, ni donde no hay el suficiente  $\text{CO}_2$  disuelto, ello los restringe por fuerza a aquellos lugares donde la corriente es capaz de cargarse por turbulencia de  $\text{CO}_2$  y al mismo tiempo garantizar la acción del lavado y esto nos explica su presencia-ausencia en el Sistema.

Con relación a su distribución en el Sistema encontramos tres géneros en 3 tipos de aguas diferentes, ello parece sugerirnos que si bien acantonados sólo a los tramos altos del Sistema, los musgos responden a las variaciones que sufre el agua y por lo tanto pueden servir en cierta medida de bioindicadores de calidad al menos para este tramo. Así encontramos a Fontinalis antipyretica en la estación nº 1, en la zona de Hidromorfos calizas allí donde el agua presenta ya una dureza superior a 220 mg/litro de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y una  $\text{DBO}_5$  que alcanza en el Otoño por causas naturales hasta 4,2 mg/litro con lo que Fontinalis antipyretica se nos presenta como una especie que no sólo tolera bien aguas bastante alcalinas, sino que también soporta en cierta medida una polución orgánica media, lo cual está de acuerdo con las experiencias de Schowwobel (1964) que demostró que F. antipyretica utiliza el  $\text{NH}_3$  como fuente de nitrógeno. Por su parte Hypnum parece confinado sólo a aguas blandas y oligotróficas y Cinclidotus ocupa

ría un lugar intermedio entre Fontinalis y este último género.

En conclusión, los musgos en ríos como los del Sistema, sólo pueden servir de bioindicadores en los tramos altos, siendo la información que suministran, desde mi punto de vista, no excesivamente valiosa limitándose esta a permitirnos discriminar entre aguas "blandas" - aguas duras, niveles de O.D. y CO<sub>2</sub> altos (allí donde están presentes) y acumulos naturales no muy fuertes de materia orgánica allí donde medra F. antipyretica.

Tras el "fiasco" de las Briofitas, intenté profundizar en el tipo de información que podrían suministrar las Macrófitas acuáticas para intentar conseguir bioindicadores de calidad de los tramos del Sistema que no cubrían los musgos.

Realmente resulta bastante difícil el poder correlacionar directamente las macrófitas con la contaminación en el Sistema, ello es debido a que si bien en general la luz, los gases y los nutrientes son factores limitantes que pueden en alguna medida correlacionarse con los distintos tipos de polucionantes, en los ríos estudiados todo es muchísimo más complicado, pues la velocidad de la corriente (junto con la naturaleza geológica del terreno) es quien determina la granulometría (que constituirá el sustrato), el que el suelo formado sea más o menos estable, y por lo tanto la propia estabilidad de las macrófitas, el aporte y la renovación de nutrientes, mediante el juego suspensión-deposición etc.

Con relación a la luz, hay que afirmar, que las "comunidades" acuáticas no prosperan en cualquier parte del Sistema, sino que se encuentran cerca de zonas desnudas por causa del "lavado", de sequías periódicas etc.. y en general allí donde no existan árboles frondosos que con su canopia puedan robarles la luz que precisan para su fotosíntesis. Esta distribución pues, no está directamente correlacionada con la calidad del agua, limitándose la contaminación en este sentido a ocupar un modesto papel sólo en el sentido de incrementar la turbidez, que salvo en casos muy concretos, no llega nunca a ser un factor determinante.

Con relación a los gases, fundamentalmente  $\text{CO}_2$  y oxígeno, al estar formada la mayor parte del Sistema por aguas alcalinas, ricas en  $\text{CO}_3\text{H}$ , las macrófitas no sufren la penuria nunca del primer gas (pues inclusive en la parte de aguas más ácidas (estación 2) la velocidad de la corriente es lo suficientemente fuerte para cargarse de  $\text{CO}_2$  por turbulencia) y con relación al oxígeno disuelto, si bien este puede escasear en las estaciones que presentan una DBO muy elevada, las macrófitas exhiben tal diversidad de adaptaciones, que en cierta medida las independizan del medio dulceacuícola (así p. ej. las plantas flotantes toman directamente los gases de la atmósfera) y más que macrófitas acuáticas, había que denominarlas macrófitas "anfibiaas".

Con relación a los nutrientes, estos podemos decir que tienen un doble origen, ya que pueden provenir de even-

tos propiamente naturales como la lixiviación del lecho y de los suelos, por lo que están directamente correlacionadas con la naturaleza geológica del terreno, o bien provenir de vertidos contaminantes con lo cual sí existe una buena correlación entre la contaminación (entendiendo ésta como un aporte suplementario de sustancias orgánicas y nutrientes minerales); pero incluso aquí, la mayoría de las macrófitas acuáticas no toman sus nutrientes del agua sino del suelo, que suele ser mucho más rico, cuyo status nutricional, no siempre, debido a la acción de la corriente, puede correlacionarse directamente con la calidad del agua. Además, un fuerte aporte contaminante sobre unas aguas oligotróficas sin cambio en el substrato geológico, sí puede traducirse en un cambio brusco de la flora y entonces las macrófitas sí constituyen buenos indicadores de la intensidad de esa contaminación, pero en las aguas, ya de por sí ricas en sales del Henares, este impacto resulta mucho más difícil de apreciar.

Así pues, podemos afirmar que la distribución de las macrófitas acuáticas y su abundancia están determinadas por un conjunto complejo de factores físico-químicos y bióticos, de los que los nutrientes totales (y dentro de ellos los aportes contaminantes) sólo constituyen una pequeña parte de ese complejo. Así pues, si no resulta complicado establecer correlaciones estrechas entre distribución de macrófitas acuáticas y velocidad de la corriente en un substrato geológico dado, si lo resulta el referir esta distribución a la contaminación (salvo casos muy

concretos (p. ej. herbicidas) pues esta no pasa de jugar un papel secundario (so pena que sea crónica y fortísima) siempre modulado por la acción de la corriente.

Todo este conjunto de dificultades, me ha obligado, mas que a limitarme a constatar un fenómeno general y a dar una lista de especies y hablar del enriquecimiento progresivo de la flora aguas abajo explicándolo en función del incremento en conductividad y el decaimiento progresivo de la velocidad de la corriente, que intensifica la deposición de las partículas, a seleccionar especies de macrofitas que realmente fueran tan representativas de una situación dada, que me suministraran la suficiente información como para permitirme una nueva parcelación del ecosistema complementario a la ya obtenida por otros tipos de organismos. Así las zonas que he sido capaz de discriminar son:

- A) Zona de Nasturtium officinalis o del Nasturtión
- B) Zona de Myriophyllum spp. y Ranunculus spp. o del Callitrichión.
- C) Zona de Potamogeton crispus o del Eupotamion.
- D) Zona de Lemna minor-Lemna gibba y de las Monocotiledoneas altas o del Fragmitión.

. En general estas zonas se corresponden con asociaciones vegetales que representan distintas formas de colonización que se suceden a lo largo del cauce.

A continuación paso a detallar cada una de las características de estas zonas, así como a explicar la transición de unas a otras.

A) Zona de Nasturtium officinalis

Las macrófitas pertenecientes a la zona de Nasturtium re presentan bien lo que ocurre en la zona de hidromorfos calizas de la estación nº 1. Se trata en general de plantas típicas de cauces poco profundos y bastante estrechos. Ello nos ilustra sobre dos de sus principales caracterís-ticas: por un lado se trata de organismos que requieren bastante luz para su desarrollo (recordemos que ésta de- crece rápidamente con la profundidad) y por otro son seres que van a estar sometidos a un flujo que oscila de rápido a moderado a lo largo del año en función del caudal.

Por otra parte, la altitud de la zona (1.432 mts) condi- ciona una climatología bastante adversa durante buena parte del año que estas macrófitas deben resistir sumergidas aunque sea en un estado de capidisminución hasta que las condiciones sean favorables para su desarrollo y les permitan emerger temporalmente. Ello condiciona el que Nas-turtium alcance su apogeo al final del verano.

Precisamente va a ser la velocidad de la corriente el factor desencadenante de la mayoría de las adaptaciones de este tipo de macrofitas, que van a encontrar en ella tan- to su mejor amigo como su mejor enemigo, pues si bien la corriente es en definitiva lo que las va a proveer y re- novar los nutrientes, también es la espada de Damocles, que siempre está amenazando con arrancarlas de cuajo.

Las principales adaptaciones ecológicas de este tipo de plantas son:

1) Con relación a las raíces, como la mayoría de las macrofitas de corrientes rápidas van a poseer raíces cortas, las cuales para permitir una mejor consolidación van a formar "entramados" (a menudo incluso horizontales) que están firmemente anclados y consolidan suelo.

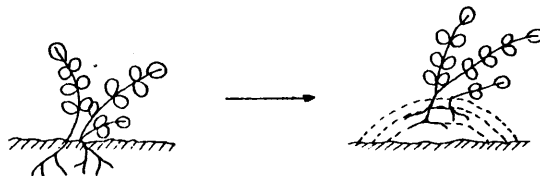
2) Con relación a los tallos, estos van a estar dotados de mucha resistencia hidráulica y de la suficiente flexibilidad para resistir la turbulencia.

Si analizamos la cutícula, comprobamos que ésta es muy fina tanto en el tallo como en las hojas sumergidas, mientras que por el contrario es gruesa en las partes emergidas, ello es una clara indicación de que esta planta, que pasa la mayor parte de su vida sumergida, es capaz de tomar directamente los nutrientes del agua y por lo tanto viene afectada por su calidad. Estos nutrientes si bien no parecen suficientes para conseguir un desarrollo exuberante de estas macrofitas, si que lo son para mantenerlas con vida en espera de las condiciones favorables. Esto nos ayuda a explicarnos el que Nasturtium pueda vivir todo el año, permanezca verde en invierno y sea capaz de tolerar las malas condiciones con tallos sumergidos tan pequeños como 2 cm.

A medida que las condiciones mejoran (menor velocidad de la corriente, más luz y temperatura) Nasturtium va a poder emerger sufriendo un crecimiento muy rápido "apoyándose" sobre otras especies cortas y sumergidas. Para que este desarrollo pueda tener lugar necesita obviamente un aporte suplementario de nutrientes, aporte que consigue



formando "asociaciones" (los típicos "clumps") que aprisionan sedimento rico en ellos. Una nueva adaptación las permite el supervivir sin ser "ahogadas" por estos acúmulos, siendo capaces de variar el nivel de las raíces hacia arriba en función de la magnitud del depósito.



De esto van a resultar bastantes consecuencias ecológicas, y es que durante esta estación, *Nasturtium* va a dar unos índices altísimos de productividad (que aunque yo no he medido, sino sólo comprobado "de visu", si hacemos caso a Westlake (1.972) sugiere a título indicativo que es más de tres veces superior a la producida por plantas sumergidas tipo *Ranunculus*). Ello va a permitir por una parte, que los berros alberguen en los sedimentos que retienen una gran población de Tricópteros sin vaina, tipo de "Plectonemia comparsa". Por otra parte, su desmesurada productividad es un factor que a la larga resulta suicida, pues unas raíces cada vez peor ancladas (los sedimentos retenidos son en verdad un frágil substrato) soportan cada vez mayor biomasa, con lo cual acaban fácilmente siendo erosionados, y así el ecosistema recibe de nuevo un importantísimo aporte de materia orgánica. De esta erosión, sólo se "salvan" fragmentos de *Nasturtium* que son capaces de recomenzar año tras año este ciclo.

Como ya es fácil adivinar, las razones que me han inducido a seleccionar a Nasturtium como bioindicador, es que basa gran parte de su supervivencia en la captación de nutrientes e inclusive de los gases disueltos del agua, y que por ello está directamente correlacionado con su calidad. Con relación al espectro ecológico que define, si comparamos los datos promediados por ingleses y americanos con los encontrados en el Sistema veremos que:

|                       |           |                    |                        |                 |                       |                        |
|-----------------------|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| Autores               |           | <u>Alcalinidad</u> | <u>DBO<sub>5</sub></u> | <u>Cloruros</u> | <u>Nitratos</u>       | <u>NH<sub>3</sub></u>  |
| Ingleses y            |           | 250                | 2,5-4                  | No rel.         | 3-6                   | 0,1-0,3                |
| Americanos            |           |                    |                        |                 |                       |                        |
| Sorbe-Henares         |           | 120                | 2,9-4,2                | 30              | 21-44                 | 0,1                    |
|                       |           |                    |                        |                 |                       |                        |
| <u>PO<sub>4</sub></u> | <u>Ca</u> | <u>Mg</u>          | <u>Na</u>              | <u>K</u>        | <u>SO<sub>4</sub></u> | <u>Solidos disuel.</u> |
| 1-2                   | 150       | 5                  | 40                     | 40              | 30                    | 350-500                |
|                       |           |                    |                        |                 |                       |                        |
| 0,4-1                 | 50        | 3                  | 10                     | 10              | 15                    | 400                    |

Lo cual si exceptuamos algunos cationes (especialmente Ca) y la alcalinidad que dan valores algo más bajos (lo que sugiera tal vez o que no necesite tanto Ca o que pueda tomar parte de éste directamente del substrato calizo) están bastante acordes, lo cual parece confirmar que Nasturtium tiene un espectro lo suficientemente definido como para ser tomado como bioindicador.

Al entrar el Sorbe en terrenos Cambro-Silurianos y al ir perdiendo alcalinidad, Ca y sales debido al efecto de dilución que realizan los aportes de agua de los afluentes de la cara noroeste, Nasturtium desaparece y ya no vuelve.

mos a encontrarlo en el Sistema.

B) Zona de Myriophyllum y Ranunculus

Se trata de una amplia zona que comprende desde aguas abajo de la estación nº 1 hasta casi la desembocadura del Sorbe en el Henares. Su principal característica, que es lo que le da cierta homogeneidad es el flujo rápido, que como siempre es el factor desencadenante de las adaptaciones que las macrofitas realizan para colonizar este medio. Todas las macrofitas de esta zona, debido a este efecto modulador van a presentar ya en mayor o menor medida los siguientes rasgos: reducción del tamaño de las hojas, peciolo más cortos, internodos más cercanos en tallo y raíz, flexibilidad del tallo, rara producción de hojas flotantes (ya que las hojas flotantes no asimilarían bajo el agua y el poseerlas constituiría un despilfarro "económico" pues debido al flujo pasan bastante tiempo sumergidas), menor número de flores (lo que parece sugerir la importancia de la reproducción vegetativa), formación de "clumps" y con relación a las raíces, estas si bien siendo de carácter adventicio, poco profundas, teniendo las macrofitas la posibilidad de propagación por fragmentos ó bien la de asirse firmemente a un objeto lo suficientemente importante como para ser estable. Sin em bargo, pese a estas características homogeneizadoras, en esta zona tienen lugar grandes diferencias de las que las macrofitas dan testimonio, de tal modo que a lo largo de todo este tramo podemos apreciar las siguientes sub zonas:

1ª) Aquella que va desde aguas abajo de la estación nº 1 hasta el embalse de Pozo de los Ramos (estación nº 2). Esta zona difiere de la anterior en que por una parte el río va siendo algo más ancho y profundo, estando sometido a fuertes variaciones en el nivel de sus aguas, que se incrementan con las precipitaciones y por otra parte, debido a la naturaleza geológica del terreno que atraviesa, el status nutricional del substrato va a ser tremendamente pobre.

2ª) Aquella que va desde el Embalse del Pozo de los Ramos hasta la estación nº 4 y que va a diferir de la anterior en que por una parte el río debido a la acción reguladora del caudal que ejerce el Pozo los Ramos, las variaciones de nivel van a ser mucho más mitigadas, con lo cual las macrofitas ya no van a tener que soportar fuertes inundaciones y por otra parte, el que al ser los materiales geológicos atravesados primero una franja del Cretácico Superior (Muriel) y luego una cubeta terciaria oligocénica, debido a que estos materiales son más blandos, puede ir poco a poco aumentando en profundidad y sobre todo en anchura, al mismo tiempo que sus aguas pueden irse cargando de sales. La existencia de una alameda, debido a su capacidad fijadora de nitrógeno origina un enriquecimiento de este nutriente al llegar a las aguas abundante materia orgánica (hojas, frutos etc.) procedente de estos arboles.

Las características de estas zonas vienen perfectamente reflejadas por las macrofitas que los habitan, con lo que

podemos establecer una sucesión hacia aguas abajo:

Myriophyllum alterniflorum -- Aguas oligotróficas  
(hasta la estación 2)

Ranunculus aquatilis -- Aguas de oligo a mesotróficas  
(de la estación 2 a la 3)

Myriophyllum spicatum -- Aguas mesotróficas  
(de la estación 3 a la 4)

Algunas de las características ecológicas que me han hecho seleccionar precisamente estas macrofitas son:

M. alterniflorum.- Es una planta adaptada al flujo rápido que tolera incluso severas inundaciones, hecho característico entre las estaciones 1 y 2, pero aparte de eso, lo que más me ha llevado a destacarla, aparte de su presencia, es que se trata de una macrofita sumergida y por lo tanto depende en cierta medida de la calidad del agua. Se me podrá objetar, que si bien esta correlación parece clara para los gases disueltos ( $\text{CO}_2$  y O.D. son altos debidos a la turbulencia) no lo parece tanto para los nutrientes, pues Myriophyllum posee rizomas que lo ligan al substrato. Esto, si bien es cierto, tiene verdaderamente poca importancia, pues el substrato (cuarcitas, pizarras y grauvacas metamórficas) y en general todos los substratos "firmes" son aún más pobres en nutrientes que el mismo agua. Un análisis detallado de su cutícula nos muestra que Myriophyllum posee un tallo con una cutícula finísima (lo que testimonia que va a ser capaz de absorber nutrientes directamente del agua) mientras que sus hojas por el contrario son peludas y poseen una cutícula considerable. Esto ya puede informarnos de como tiene lu-

gar la toma de nutrientes, pudiendo los pequeños fragmentos de Myriophyllum sobrevivir gracias a los nutrientes del agua aunque con éstos no pueda alcanzar un desarrollo exhuberante. ¿Que es pues lo que permite este desarrollo?. Si atendemos a sus períodos de crecimiento vemos que presentan dos anuales, uno a finales de Mayo y otro a finales de verano, esto nos orienta sobre el papel trascendental que va a jugar el limo temporal que arrastra la corriente ( y el porqué de que estas macrofitas necesitan corriente), en efecto las finas partículas de limo arrastradas por las aguas son verdaderos almacenes de nutrientes que estas plantas capturan gracias a los pelillos de sus hojas; (hojas que por lo tanto están bien adaptadas a tolerar cierta turbidez) permitiéndoles esto su desarrollo fulgurante, la misma corriente se encargará de renovar este fino sedimento atrapado y así la planta dispone durante estas épocas de todo lo que precisa para alcanzar un desarrollo lujuriente. Asi p. ej. Caines (1.965) demostró que M. alterniflorum exhibía una demanda de fosfatos máxima justo antes y en los primeros estadios del desarrollo concentrando este nutriente en sus ápices. Acabado el verano y cuando por efecto de las lluvias el flujo comienza a ser demasiado rápido Myriophyllum, por causa de sus hojas peludas, sufre primero los efectos de la abrasión que comienza arrasando las hojas de arriba, manteniendo sólo las que están guarecidas en la parte de abajo del clump, siendo posteriormente erosionadas (salvo si están en un lugar suficientemente resguardado) y sobreviviendo en forma de pequeños frag-

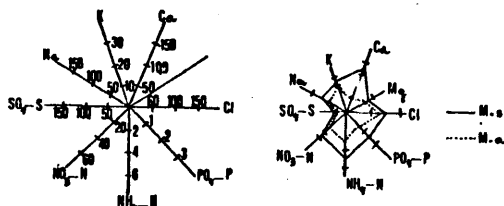
mentos.

Así pues, la calidad del agua y el limo temporal que ésta acarrea (y que también pues es una parte de ésta) son los factores determinantes para la existencia y el desarrollo de Myriophyllum. Si a continuación pasamos pues a cuantificar ese status nutricional, comprobamos que M. alterniflorum correlaciona bien su abundancia con los niveles más bajos de conductividad y calcio, mientras que aguas abajo, allí donde entramos en terrenos miocenos-oligocenos que poseen más arcilla, es substituido por M. spicatum, allí donde se producen menos inundaciones, la alameda ayuda a estabilizar el cauce, existe algo más de profundidad (al menos 50 cm en verano) y sobre todo el agua deja de ser oligotrófica para alcanzar la mesotrofia existiendo una relación directa entre su abundancia y los niveles crecientes de conductividad, Calcio, Fosfatos y Nitratos.

Si comparamos el espectro suministrado por los autores Ingleses y americanos con nuestros datos constatamos que se corresponden bastante bien.

| Autores               | Alcalinidad | DBO <sub>5</sub> | Cl              | NO <sub>3</sub> -N | NH <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> |
|-----------------------|-------------|------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Ingleses y Americanos | Poca rel.   | 2,5-4            | 20-40           | 1-3                | 0,1-0,3         | 0,05            |
| Estaciones 3 y 4      | 40-120      | 12-44            | 11-40           | 2-38               | 0,1             | 0               |
| PO <sub>4</sub>       | Ca          | Mg               | SO <sub>4</sub> |                    |                 |                 |
| 0,3                   | 100         | 5                | 80              |                    |                 |                 |
| 0,03-0,1              | 44          | 5-10             | 50-64           |                    |                 |                 |

Si sobre el diagrama admitido por la mayoría de los autores, que caracterizan el status nutricional de una corriente dibujamos el espectro de ambos Myriophyllum encontramos que:



M. alterniflorum cae muy bien dentro del rango oligotrófico mientras que M. spicatum es un firme representante de las condiciones mesotróficas.

Respecto a su relación con los seres vivos, aparte de albergar gran cantidad de microalgas epifíticas, parecen jugar un papel importantísimo para Astacus (= Potamobius pallipes) pues en Octubre, "escondidas" entre Myriophyllum spicatum encontramos numerosas hembras de estos cangrejos con sus huevos y crías muy pequeñas. Parece que también, no sé si por esta razón (de albergar microalgas y cangrejos) o porqué las consumen "per se", debido a que sus pequeñas hojas deben ser más fáciles de engullir y digerir, algunos peces parecen alimentarse de ellas.

Ranunculus. - Es precisamente "Ranunculus aquatilis" la especie que mejor define la zona de transición existente entre los dos Myriophyllum antes estudiados, a ello va a contribuir los siguientes factores: la existencia de un substrato adecuado constituido por rocas y cantos, el que la anchura y profundidad del río (de 35 - 75 cm) en esta parte sean todavía moderadas, el que en esta zona



no se dan inundaciones severas debido a la regulación del caudal por el pozo los Ramos, el que el flujo se mantenga rápido y sobre todo el que las aguas por efecto de la franja del Cretácico Superior puedan evolucionar de la o ligotrofia hacia la mesotrofia, cargándose además con cierta cantidad de Calcio. A diferencia de Myriophyllum, aunque sus raíces son poco profundas, se ancla fuertemente con ellas a objetos sólidos estables, lo que les permite en cierta forma la perennidad y el que así puedan permanecer verdes en invierno. Por otra parte, es una planta que debido a la pobreza en nutrientes de su sustrato ( y en general de todos los sustratos duros) necesita tanto tomar los nutrientes del agua para poder sobrevivir (para ello sus pequeñas hojas están provistas de una cutícula bastante tenue y está comprobado experimentalmente que al menos  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4$  entran directamente del agua) como, al igual que Myriophyllum, de abastecerse de nutrientes del fino sedimento temporal que arrastra la corriente y que aquí coge a base de incrementar el desarrollo de sus raíces sobre el nivel del sustrato, de tal modo que le permitan incrementar la superficie de retención de esta materia en suspensión (la formación de clumps contribuye a que este mecanismo sea más eficaz). A diferencia de Nasturtium el nivel de estas raíces sobre el suelo se mantiene constante, manteniéndose el sedimento sobre la raíz (sin dañar al tallo que tiene una cutícula muy fuerte), siendo renovado ó bien por variaciones del caudal ó bien cuando su tamaño es ya lo suficientemente considerable para alcanzar la corriente prin

cipal. Como adaptación a esta necesidad de flujo rápido, *Ranunculus* es muy tolerante a la turbulencia y consigue que los efectos de abrasión generados por los sólidos en suspensión sean menos drásticos haciendo más suave y elástica la superficie de sus hojas.

A medida que el río va haciéndose más ancho y profundo (de 80 a 100 cm) y al mismo tiempo sube la conductividad hasta alcanzar condiciones mesotróficas, *R. aquatilis* tiene de a ser substituido por "*R. fluitans*", sin embargo esta substitución no pasa de ser un esbozo, pues una de las limitaciones de *Ranunculus* es que es un género que requiere mucha luz (del 60-70% de la luz solar completa si la sombra es uniforme ó del 40-50% si es variable) y parece que la turbidez aportada por el río Henares a partir de la estación nº 5 es suficiente como para impedir su desarrollo y tanto es así que no volvemos a encontrar a "*R. fluitans*" hasta después de la estación 9, donde la represa de la Oruga al permitir la sedimentación de parte de los sólidos en suspensión ha "aclarado" lo suficientemente el agua y el "salto" posterior ha generado de nuevo un flujo lo suficientemente rápido como el requerido.

Respecto a su relación con la fauna acuática, hemos encontrado en los sedimentos atrapados por *Ranunculus*, Lumbricúlidos en algunos casos y más frecuentemente Tricópteros tipo *Hydropsyche*, que se alimentan de los *Baetis* que se encuentran entre sus hojas.

#### C) Zona del *Potamogeton crispus*

Esta zona, pese a denominarla del "*Potamogeton crispus*"

bien podría llamarla la zona de la "desolación". Por una parte el Henares no tiene, como ocurría en el Sorbe, regulado su caudal así que en esta zona, en la que nada es estabiliza sus orillas, van a sufrirse con bastante intensidad importantes avenidas y dramáticos estiajes. Por otra parte, aunque las litofacies pertenecen ya a un Cuaternario aluvial y diluvial, la fuerte erosión que sufren los suelos pardos cálcicos de la margen izquierda, debido en gran parte a la falta de cubierta vegetal del valle del Henares y hacia la que se va desplazando el río, unido a su escarpada pendiente (recordemos que es un valle disimétrico) hacen que por el extraordinario aporte en arcillas el río sea enormemente turbio durante casi todo el año.

Todo ello va a condicionar el que el lecho sea más fácilmente erosionable y su régimen de caudal mucho más inestable, con lo que, desde el punto de vista de las macrofitas, estos factores van a significar un pobre anclaje, mucha pérdida por lluvias y muy poca vegetación donde la inundación es grande. Así pues, por efecto de la corriente que hace bastante inestable el sustrato (recordemos que aquí la pendiente es todavía de 0,003) el incremento del status nutricional no puede ser casi aprovechado y en lugar de predominar los efectos beneficiosos de las arcillas, lo que predomina son los perjudiciales, la turbidez y la abrasión, con lo que resultan altamente dañadas las plantas que no tienen hojas por encima del nivel del agua y en general de casi todas las plantas sumergidas y de

todas aquellas que necesitan mucha luz, con lo que la extinción de Ranunculus es casi inmediata.

Realmente son pocas las macrofitas que puedan soportar condiciones tan duras como la inundación, la sequía, un flujo todavía relativamente rápido durante buena parte del año, la inestabilidad del sustrato, la turbidez y la abrasión y ello explica la "desolación" vegetal a la que antes me refería. Sólo allí donde llegan a poderse producir grandes acumulos de limo y puede estabilizarse algo el sustrato (cerca de los pocos sitios donde existen árboles cercanos a la orilla) podemos encontrar algo de vegetación.

Las pocas macrofitas encontradas en esta zona responden en general a las características geológicas de los materiales que forman el aluvión, y aunque podemos decir que predominan especies típicas de corrientes arcillosas (Potamogeton crispus, Myriophyllum spicatum, Thypha latifolia y Sparganium). También están presentes y desde aquí a la estación 13 algunas plantas como Juncus effusus características de restos de rocas duras paleogenas.

Con relación a Potamogeton crispus debo señalar que se trata de una especie que suele ser común en ríos con un volumen medio de aguas de 8 a 15 metros de anchura y habita allí donde la velocidad de la corriente es intermedia. Desde luego tolera mucho mejor las inundaciones que el flujo rápido. Tiene las raíces cortas (a 15 cm sobre el suelo) y con ellas se ata a la grava manteniendo constante su nivel (es decir no son móviles como las de Nas-

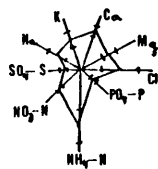
turtium), permitiéndole, allí donde el sustrato es firme (generalmente gravas de tamaño medio) crecer bien y hasta formar algo de suelo estable. Es una especie que requiere bastante luz (recordemos que en este tramo del HERNANDES prácticamente hay muy pocos árboles) aunque tolera algo de "sombra", la suficiente como para que la turbidez, que por otra parte es mucho menor en verano al no llover prácticamente, le permita desarrollarse, aunque desde luego no lujuriosamente.

La cutícula negligible parece indicarnos que se trata de una especie capaz de asimilar directamente nutrientes del agua, mostrando su espectro ecológico característico de especie semieutrófica. Comparando los datos encontrados en el Sistema con los suministrados por los autores ingleses y americanos vemos que:

| Autores ingleses y americanos | Alcalinidad | DBO   | NO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Sólidos D. |
|-------------------------------|-------------|-------|-----------------|-----------------|------------|
|                               | 170-250     | 25-4  | 3-4             | 80              | 500        |
| Estaciones 5 y 6              | 145-190     | 49-58 | 3-8             | 30-60           | 870        |

| PO <sub>4</sub> | Cl    | Ca  | Mg | Na |
|-----------------|-------|-----|----|----|
| Pocos           | 40-60 | 150 | 10 | 40 |
| 0,1-0,2         | 60-80 | 80  | 10 | 36 |



En general existe buena correspondencia, siendo algo más bajos los niveles en Ca, y un poco más elevada la  $DBO_5$ . El que nosotros volvamos a encontrar a Potamogeton crispus en aguas abajo de la represa de La Oruga (estación 9) en donde la  $DBO_5$  llega a alcanzar valores cercanos a 10 ppm sugieren que posiblemente ese parámetro no sea el limitante, y si lo sean los altos niveles de fosfatos que se dan a partir de aquí en el Sistema (salvo en la estación 9) y de los que esta macrófita parece requerir muy poco.

Otro hecho curioso en esta zona lo constituye la disminución de Myriophyllum spicatum, especie que veía estimulado su desarrollo por las arcillas drenadas por los terrenos Eocenos y Oligocénicos que se daban a partir de la estación 3, y que aparte de tener un espectro mesotrófico es capaz, debido a su forma de almacenar limo temporal, de resistir la turbidez, que sin lugar a dudas tiene lugar por efecto de las inundaciones.

Las "Thyphas" (principalmente T. latifolia) solo existen allí donde decae la velocidad del flujo y puede encontrarse un substrato más estable donde anclar sus raíces y así poder crecer rápidamente durante la estación favorable). Encontramos aneas en la estación nº 6 pudiendo estar relacionado con este hecho, por un lado la existencia muy próxima aguas arriba de algunos Populus y el enriquecimiento extra de nutrientes provenientes de Fontanar.

Zona de la Lemna minor- L. gibba  
=====

Esta zona la he denominado así por ser estas especies durante el período de mínimo caudal, las macrofitas acuáticas más lujuriantes. Sin embargo, también y tal vez con más propiedad podía haberla denominado la "Zona de las Monocotiledóneas altas" pues son estas plantas las que en realidad, y en buena medida, posibilitan la exuberancia de las lentejas de agua.

Son varias las causas que van a generar este drástico cambio de vegetación, entre ellas las más importantes sin lugar a dudas son la reducción en cuanto a la velocidad del flujo (pendiente media = 0,0016 que comienza ya a permitir la deposición de material fino (arcilla)) y la estabilización del cauce (con la correspondiente disminución de las inundaciones) y junto con ellas, y tal vez tan importante o más, los continuos vertidos procedentes de Guadalajara y de Alcalá de Henares fundamentalmente, que se traducen en un aporte de lodos extra, que no sólo incrementa el status nutricional, sino que inducen una modificación del sustrato que favorece a las macrofitas con raíces profundas (idóneas para profundizar en barro y limo) en detrimento de las hasta entonces dominantes de raíces cortas (idóneas para asirse a la grava).

Dado pues, que es fundamentalmente la contaminación la responsable del paso de la condición mesotrófica a la eutrofía de las aguas y que desgraciadamente este tránsito se realiza ya antes de la estación 7 (con lo que a partir de Guadalajara nos encontramos ya con las aguas eutróficas) si bien es muy fácil contemplar el cambio de

vegetación entre la estación 6 y 7, resulta ya en verdad mucho más complicado el apreciar las variaciones que, dentro del status eutrófico, por acción de los procesos "autodepuración-contaminación" tienen lugar en esta parte del Sistema. Ello me ha obligado a un estudio bastante detallado de la vegetación existente en torno a los puentes que surcan el Sistema y por otra parte a intentar apreciar, dentro de lo difícil que resulta, pues son macrofitas que en gran medida parecen haberse adaptado de tal modo que la polución no pueda dañarlas, a buscar variaciones dentro de las "monocotiledóneas altas" en su espectro ecológico, que al menos indirectamente estuviera relacionado con fenómenos contaminantes. El que me haya centrado en la vegetación próxima a los puentes, no se debe como a primera vista pudiera pensarse al factor comodidad sino a que los puentes son capaces de modificar en torno suyo la corriente, haciéndola más lenta justo aguas arriba, causando remolinos y turbulencia en derredor suyo, y generalmente velocidades algo más altas por su paso y justo aguas abajo incrementando también algo la profundidad. Todo ello se traduce en que, en torno a un puente, encontramos toda una gama de velocidades y subsiguientemente de substratos, lo que significa que exista en un corto espacio una gran variedad de comunidades acuáticas bañadas por un agua de la misma calidad.

El estudio de las monocotiledóneas altas nos revela que son fundamentalmente Phragmites-Sparganium-Thypha y Phalaris los géneros dominantes. Todas ellas tienen unas ca



racterísticas bastante similares, entre las cuales podemos destacar:

- 1) Sus profundas raíces y rizomas sujetan el suelo de las orillas y sus densos tallos protegen de las avenidas; así pues van a actuar como protectoras de la erosión de las orillas (esto va a explicar el que el río, pese a la abundante materia orgánica drenada por los efluentes sea menos turbio que aguas arriba) (P. ej.: en muchos países se ha utilizado a Phragmites communis como estabilizador de cauces).
- 2) Una vez ancladas, las monocotiledóneas altas son capaces de generar reducciones locales de corriente, permitiendo deposición de material por la cara opuesta a la corriente. Todo ello se traduce en que en la época de estiaje lleguen a formarse verdaderos bancos de sedimentos, que pueden hacer aún más insignificante la velocidad del flujo, con lo cual brindan además protección a otras plantas como lemna.
- 3) Las monocotiledóneas altas están diseñadas de tal modo que en general parecen escapar a los efectos directos de la contaminación:
  - A.- Toman los gases necesarios para la fotosíntesis a través de sus órganos aéreos, estos además por su altura escapan a los fenómenos que podrían derivarse de la turbidez de las aguas.
  - B.- Toman sus nutrientes del sustrato (no del agua) a través de sus raíces.
  - C.- Por si esto fuera poco, además presentan raíces "dur-

mientes" durante el invierno, que sólo comienzan a crecer durante el verano una vez que los tallos han comenzado a emerger (tallos que por otra parte absorben muy poco por sus rizomas y por sus partes aéreas). De esta manera sólo es importante su desarrollo cuando las verdaderas raíces entran en actividad. Este metabolismo estacional es importante con relación a la contaminación pues durante casi todo el año (de Noviembre a Mayo) estas plantas, debido al "sueño" de sus raíces no absorben los polucionantes (de tal modo que estos no pueden dañarlas) y sólo de Junio a Octubre podrían absorberlos, precisamente cuando el caudal es mínimo y estas macrofitas se encuentran ya por encima del nivel del agua, con lo cual tampoco pueden resultar dañadas.

Con todo y con esto pese a presentársenos las monocotiledóneas altas como baluartes inexpugnables a la contaminación, dos efectos relacionados con ésta me parecen interesantes: por un lado la mayor sedimentación de lodos en las cercanías de los efluentes de aguas negras (siempre y cuando lo permita el flujo) y por otro, aunque la propia calidad del agua no parece influenciar directamente a la planta, sí que determina a su sustrato, y éste a su vez afecta a la planta.

Utilizando estas dos constataciones como referencia, así como el hecho admitido por la mayoría de los autores, de que pese a que las especies semieutróficas y eutróficas muchas veces solapan su espectro ecológico, los niveles de Cl y Na a veces son importantes para poderlas discriminar

(Cl y Na se elevan drásticamente por acción de los vertidos de aguas negras), he intentado ver si en su distribución en el Sistema podría haber algún factor relacionado con la contaminación que me ayudara a interpretar su distribución; teniendo en cuenta naturalmente la propia inestabilidad de las macrofitas, a las que una avenida demasiado fuerte puede distorsionar y modificar todo el conjunto.

Los hechos constatados son:

A partir del vertido de Guadalajara se produce una gran proliferación de Phragmites communis y de las dos Sparganium; de tal modo que si el buen tiempo se mantiene durante el otoño estas macrofitas son capaces de medrar incluso en el propio centro del cauce constituyendo auténticas barreras.

A partir de la estación 8 y hasta la 10 registramos un significativo aumento en cuanto a la abundancia de Phalaris arundinacea y a partir de la estación 9 y hasta la 10 volvemos a encontrar a Ranunculus.

Según esto podría deducirse que Phalaris soporta menos la contaminación orgánica que Phragmites y Sparganium y de ahí el que aparezca sólo donde la  $DBO_5$  ha bajado por efecto de la autodepuración del río. De hecho el que volvamos a encontrar a Ranunculus es una clara indicación de la mejora de la calidad del agua.

Ahora bien, como el lecho cuaternario por el que discurre el Henares, es una mezcla de materiales diversos proceden

tes de las variadas litofacies que atraviesa podría pensarse que esta distribución estaría ligada más bien con la disposición de estos materiales que con la propia contaminación, sin embargo esto no es así pues si bien las Sparganium son características fundamentalmente de las corrientes arcillosas, Phragmites, Phalaris y Juncus proceden de los restos cambro-silurianos y el que coexistan en todas las estaciones mezcladas tanto especies de uno y otro grupo nos habla de la buena mezcla de estos materiales en el aluvión.

Si comparamos los espectros dados para estas especies por los autores ingleses y americanos con los encontrados en el Sistema comprobamos que:

Datos autores

| Ingleses y americanos      | Cl <sup>-</sup> | Na  | NO <sub>3</sub> | NH <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | PO <sub>4</sub> |
|----------------------------|-----------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Phragmites communis 40-80  |                 | 100 | 4               | -               | 80              | 1-2             |
| Sparganium emersum 66-100  |                 | 40  | ↑6              | -               | ↑80             | 2-3             |
| Phalaris arundinacea 20-40 |                 | 20  | 3               | +10             | 30              | ↓1              |

Datos Sorbe-Henares

Estación 7-13:

|                     |        |        |     |      |        |       |
|---------------------|--------|--------|-----|------|--------|-------|
| Phragmites communis | 94-160 | 87-100 | 2-9 | 0-23 | 90-200 | 067-6 |
| Sparganium emersum  | 94-160 | 87-100 | 2-9 | 0-23 | 90-200 | "     |

Estación 8-10:

|                      |       |    |     |      |        |       |
|----------------------|-------|----|-----|------|--------|-------|
| Phalaris arundinacea | 47-90 | 50 | 2-6 | 0-04 | 90-150 | 067-2 |
|----------------------|-------|----|-----|------|--------|-------|

Pese a que existen ciertas diferencias, siendo más altos en general los valores encontrados en el Sistema que los dados por los autores ingleses y americanos (no olvidemos que estos datos hablan de experiencias de recogida y señalan sólo aquellos valores en donde se les encuentra más lujuriantes mientras que los datos S-H reflejan los límites máximo y mínimo en donde los he encontrado) parece realmente que Phalaris representa un estado "menos eutrófico" que el conjunto que parecen formar Phragmites-Sparganium.

Un estudio más detallado de su ecología parece sugerirnos que tal vez sea el sustrato directamente influenciado por los vertidos el causante de esta distribución. Si analizamos p. ej. el caso de Phragmites tendremos que decir que no sólo basta con destacar su presencia a lo largo de todas las estaciones, sino también el lugar en que generalmente se le encuentra con relación a otras macrofitas. Así Phragmites aparece casi siempre durante el estiaje más distante del agua que Phalaris y que Sparganium, lo cual parece un claro indicio de que pese a sus raíces profundas tolera poco las crecidas (pues ya no puede darse el término inundación) que los otros géneros mencionados. Corriendo parejo con este distanciamiento del cauce está su capacidad (casi similar a la de *S. erectum*) de tolerar bastante sombra con lo que los árboles cercanos no pueden impedirle el desarrollo. Como dato curioso diré que los autores rumanos que son especialistas en plantas acuáticas, se han dedicado a calcular la tremenda supervivencia

de los clumps de Phragmites y así Rudescu (1.965) señala que estos clumps pueden sobrevivir hasta 1.000 años pese a la muerte individual de las plantas. El único factor que parece ser limitante para Phragmites son los altos niveles de  $\text{SH}_2$  y así el mismo Rudescu (1.979) relaciona la desaparición de Phragmites con la existencia de niveles de  $\text{SH}_2$  de 5 mg/litro en medios con pH más bajo de 7.

Descartada Phragmites como especie discriminadora, podría pensarse que en las proximidades de los vertidos, al encontrarse el efluente rico en materia orgánica y sales con el río rico en arcillas, se producirían fenómenos de floculación y precipitación en general (similares a los que tienen lugar al vertirse un río a otro) precipitando lodos enormemente ricos en nutrientes los cuales crearían un sustrato más apropiado para las Sparganium que para las Phalaris. Las dos Sparganium (S. erectum y S. emersum) están perfectamente adaptadas con sus raíces profundas, sus rizomas y sus hojas largas y estrechas a estos acúmulos de sedimentos ricos en materia orgánica y cubren realmente toda una gama de posibilidades para su explotación. Así S. erectum tiene las hojas más duras en verano y los rizomas más cerca de la superficie del lecho de la corriente (esta variación en el nivel de las raíces, que ya vimos en Nasturtium, testimonia, pues aquí en principio no habría problemas de "sepultamiento", el que esta especie prefiere el limo cuanto mas "nuevo" y por lo tanto más rico en nutrientes mejor). Naturalmente tiene el problema de cuando en invierno la corriente tira con fuerza lo erosiona.

Por su parte, S. emersus mantiene constante el nivel de sus raíces y se previene de la erosión perdiendo hojas antes de que ninguna fuerza afecte a sus órganos de sujeción. Aparte de ello es la macrofita acuática que más tolera la falta de luz (40-55% de luz completa si la sombra es uniforme y menos del 30% si la sombra es variable).

Con relación a Phalaris, tolera menos que Sparganium las crecidas y necesita que el tallo completo esté fuera del agua al menos una parte del verano si quiere crecer bien, esto le obliga a situarse más hacia la orilla y posiblemente de ahí el que pueda prosperar allí donde no se den bruscos fenómenos de precipitación que originen cantidades ingentes de limo.

Aparte de estas monocotiledóneas altas, he bautizado esta zona como la de la "Lemna minor-L.gibba" pues estas son las plantas dominantes por varias razones, entre las que cabe citar que se tratan de macrofitas flotantes, con lo cual pueden tomar directamente del aire los gases que le son necesarios para realizar la fotosíntesis, siendo algunos de ellos como el oxígeno disuelto escasos en los lugares de fuerte polución orgánica. Esta condición los hace por consiguiente muy tolerantes a la turbidez y el que por tanto puedan medrar en aquellas aguas en la que la contaminación no es sólo de causa orgánica sino también en aquellas en donde los sólidos en suspensión son muy elevados.

Con relación a los nutrientes, aparte de presentar poca cutícula, lo que sugiere que parte puede absorber directamente por la superficie foliar, Lemna a través de sus

"raicillas" los obtiene directamente del agua, caracterizándose como especie indicadora de aguas eutrofizantes (aunque también puede vivir en condiciones mesotróficas) y de ahí el que suele asociarse a corrientes de tipo arciloso. En el Sistema es sólo dominante a partir de la estación 7 cuyo status nutricional es ya claramente eutrófico.

Cuando el flujo es rápido su distribución está restringida a lugares resguardados en las orillas, pero a medida que va decayendo la velocidad de la corriente y si las condiciones le son favorables, alcanza un desarrollo rapidísimo y en el curso de pocos días llega a constituir un impresionante tapiz verde que alfombra gran parte del río. A esta proliferación tan veloz contribuye en no poca medida otra adaptación peculiar de esta macrofita, que radica en el absoluto predominio de su reproducción agámica sobre la reproducción sexual.

Este tapiz parece jugar, a juzgar por lo encontrado en el Sistema y por experiencias de laboratorio, una serie de efectos locales entre los que tal vez merezca destacar:

- a) El  $O_2$  producido por Lemna a diferencia del producido por otras macrofitas sí es capaz de incrementar llamativamente los niveles de O.D. en el agua.
- b) Allí donde se encuentra Lemna existe una brusca disminución de microalgas, tanto de Clorofitas como de Cianofitas (en los lugares más contaminados) lo que sugiere que este vegetal compite ventajosamente con este tipo de algas. Esto está de acuerdo con la afirmación hecha por Scheegell H.



en su libro de "Microbiología General" Ed. Omega según la cual debajo de los tapices de Lemna se desarrollan las bacterias Tiomodaceas y Clorobiaceas fototrofas, debido a que Lemna hace el papel de filtro biológico que permite sólo el paso de la fracción del espectro absorbible por las bacterias púrpuras y las verdes del azufre, y aunque no ha determinado la existencia de estas bacterias, la reducción de microalgas observada es un tanto que podría apuntar hacia esto.

c) Las poblaciones de Lemna, constituyen directa ó indirectamente una fuente alimenticia muy importante tanto para algunos invertebrados como Chironomus thummi como inclusive para peces como Cyprinus carpio. (Se ha encontrado Lemna en su contenido estomacal)

Las lluvias otoñales al generar el incremento del caudal y por ende de la velocidad de la corriente, son suficientes para que en corto espacio de tiempo el tapiz de Lemna desaparezca hasta el siguiente verano.

Con relación a su vinculación con la polución existe cierto desacuerdo entre lo encontrado por los autores ingleses y americanos que sugieren que si bien Lemna tolera algo de "contaminación" (no especifican qué tipo) no es una macrofita que suela encontrarse en lugares contaminados, y los hallados en el Sistema, en el cual Lemna esta presente en todos los lugares donde la contaminación compleja alcanza su máximo grado, resistiendo hasta valores de  $DBO_5$  de 32 mg/litro y conductividades de  $1.300 \mu R/cm$ ; Cl de 192 mg/ litro, Na+K de 103 ppm,  $NO_3$  de 12,8 mg/litro,  $NH_3$

de 2,3 mg/litro,  $\text{SO}_4$  de 210 mg/ litro y  $\text{PO}_4$  de 6,8 mg/l.

Para intentar sacar unas cuantas conclusiones generales que no sólo nos permitan definir zonas ecológicas en base al establecimiento de un cierto equilibrio entre determinado tipo de contaminación y unas cuantas especies de macrofitas, sino también apreciar en cierta medida el impacto sobre las especies vegetales acuáticas habría que señalar que precisamente las especies que desaparecen y son substituidas por las poluoresistentes son:

a) Aquellas plantas sumergidas que necesitan tomar el  $\text{CO}_2$  y el oxígeno directamente del agua; y si conforme el  $\text{CO}_2$  no es problema en el sistema para las macrofitas, el oxígeno disuelto sí que puede constituir un factor limitante allí donde la polución orgánica alcanza una gran intensidad.

b) Aquellas plantas que obligatoriamente toman directamente sus nutrientes del agua (o aquellas que lo toman del suelo, cuando la composición de este suelo viene gobernada por el status nutricional del agua). En este sentido la contaminación, fundamentalmente orgánica en el Sistema, se comporta como un agente eutrofizante, siendo la responsable de las sustituciones de especies mesotróficas por especies eutróficas debido a que las sustancias disueltas, tanto orgánicas como industriales, fertilizantes, detergentes, etc, al alterar el status químico del suelo y del agua incrementan o dañan el crecimiento de algunas plantas.

c) Aquellas plantas con las hojas sumergidas que necesitan

que cierta cantidad de luz atraviese el agua hasta llegar a ellas y a las que, un aumento fuerte de los sólidos en suspensión o de la turbidez, impide recibir la energía radiante necesaria para realizar su fotosíntesis, produciendo sustituciones en función de los requerimientos de luz de cada especie. También dentro del grupo de plantas afectado por los sólidos en suspensión hay que considerar que cuando estos sólidos se depositan originan, si las condiciones hidráulicas lo permiten, importantes modificaciones en el sustrato que tienden a favorecer de forma general a las macrofitas con raíces profundas (p. ej. monocotiledóneas altas) en detrimento de otro tipo de especies más adaptadas a otros tipos de fondo.

A modo de colofón es interesante señalar la relación entre las macrófitas y la fauna del sistema, y así lo primero que llama la atención es el escaso número de animales que se sustentan de ellas en estado fresco. (Esto constituye una notable diferencia con los ecosistemas terrestres).

La casi totalidad de la fauna perifítica prefiere nutrirse de epifitos o de los restos de las macrófitas ya descompuestas por los microorganismos. Con todo y con eso, aparecen asociadas a las macrofitas emergentes (bien por utilizarlas como guaridas, bien por la comida que retienen etc..) toda una gama de macroinvertebrados Plecópteros como Nemoura; Efémeras como Baetis, Ephemerella, Leptophlebia y Centroptilum; Odonatos como Agrion e Isnhura, Moluscos como Physa, Sphaerium y Limnea; Crustáceos como Gammarus, Dípteros como Chironomus, Ortocladiinae y Ephydra; y Hemípteros como

Notonecta y Nepa; que en el Sistema van a ver modificadas sus frecuencias relativas en proporción bastante directa con el número de macrófitas existentes en cada una de sus zonas correspondientes.

Aparte de ésta relación bien directa entre las macrófitas que en cierta medida constituyen un sustrato eficaz para la fauna perifítica que encuentra en ella protección contra la corriente y alimentos (algas epifíticas y sedimentos retenidos), bien podrían existir otras relaciones más sutiles, como aporte local de O.D. a algunos organismos en zonas donde los niveles de este gas son muy bajos, o incluso aporte de micronutrientes (y oligoelementos) en un momento en que éstos pueden ser necesarios para que algunos microinvertebrados puedan realizar alguna de sus fases metabólicas críticas, sobre todo en aguas oligotróficas. Aunque desconocemos casi todos los procesos finos que tienen lugar en la metamorfosis de las larvas, lo que si se sabe es que al morir las macrófitas liberan los nutrientes que han acumulado, y en este sentido se comportan como organismos reguladores. Un interesante trabajo de Karpati V. (1.979) muestra como las aerohidatofitas (en concreto la Lemna) y las plantas sumergidas (Myriophyllum) acumulan diferentes cantidades selectivas de nutrientes (Lemna más K que Myriophyllum; Myriophyllum cuatro veces más Mn y Fe, y ambas cantidades similares de Na, Ca y Zn) que luego liberan en dos etapas sucesivas: una para el K, Na y Ca que alcanza un máximo a los siete días y a los 77 ya está liberado el 90% del total, y otra más rápida para el Mg, Zn y Fe que ha desaparecido hacia el día 37. Tal vez esta liberación

de micronutrientes puede jugar un cierto papel de importancia en las aguas oligotróficas que está aún por desvelar.

Bibliografia

- Bristow, J.M. (1.975)  
The esturcture and function of roots in aquatic vascular plants. Academic Press, New York-London.
- Butcher, R.W. (1.933)  
Studies on the ecology of rivers. I. On the distribution of macrophytic vegetation in the rivers of Britain. J. Ecol. 21, 58-91
- Haslam, S.M. (1.973)  
Some aspects of the life history and autoecology of *Phragmites communis*.  
Trin. Pol. Arch. Hidrobiol. 20, 79-100
- Haslam, S.M. (1.978)  
River plants. Cambridge University Press
- Hynes, H. Bn. (1.970)  
The ecology of running waters.  
Liverpool University Press
- Karpati (1.979)  
Symp. Biol. Hung, 19 pp 33-42.
- Moyle, J.B. (1.945)  
Some chemical factors influencing the distribution of aquatic plants in Minnesota. Amer. Midl. Nat, 34 402-420.
- Westlake, D.F. (1.967)  
Some effects of low velocity currents on the metabo-

lism of aquatic macrophytes.

J. exp. Bot. 18, 187-205

- Westlake, D.F. (1.977)

Fresh water Ecosystems. IBPSV. Cambridge University  
Press.

- Westlake, D.F. (1.975)

Macrophytes in the river ecology  
Ed. M. Owens Mlackuvell. Oxford.

## Los Teleosteos del Sistema

Puede encontrarse información referente a los Teleosteos del Sistema en la Tesina que codirigí de D. Julio Gomariz Acuña titulada "Influencias ambientales y contaminantes sobre los teleósteos del Sistema Sorbe-Henares". Febrero, 1.979. Para dicha tesina se había seleccionado una sola estación fenológica, el verano, pues durante el estiaje el mínimo caudal dificulta la dilución de los con taminantes y su efecto es más dramático sobre estos seres. Por otra parte, el área estudiada comenzaba a partir de Muriel, con lo que quedaba un buen tramo del Sorbe por conocer. Desde entonces, los estudios han proseguido tanto en el espacio como en el tiempo, consiguiéndose nuevas capturas, tanto de especies ya conocidas como de otras hasta entonces sólo observadas.

La distribución definitiva de los teleósteos en el Sistema queda como sigue:

[illegible]



|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Gobio gobio                                  |   |   |   |   |   |   |   |   | X | X  |    |    |    |
| C <sub>2</sub> C <sub>3</sub>                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cobitis taenia                               |   |   |   |   |   |   |   | X | X | X  |    |    |    |
| C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Cyprinus carpio                              |   |   |   |   |   |   | X | X | X | X  |    |    |    |
| C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Carassius auratus                            |   |   |   |   |   |   | X | X |   |    |    |    |    |
| C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| (observado)                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
| Gambusia affinis                             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | X  |
| C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |

Pese a tener una idea bastante real de cuales son y como se distribuyen las especies de Teleósteos en el Sistema, sigo topando con los problemas de análisis cuantitativo, pues al no disponer de cebo eléctrico, todas las técnicas de muestreo utilizadas son selectivas para especie y tamaño y así p. ej. en la tesina mencionada pese a utilizarse trasmallos, caña y palangres, Cyprinus carpio sólo había sido observado mostrándose inapetente a todos los cebos hasta entonces utilizados y sólo ha podido ser capturado posteriormente mediante potera y respondiendo a cebos "olorosos" tales como queso o "masilla" con plátano. Por otra parte, no he utilizado el clásico método de Peterson para hacer el inventario pues el estudio del "marcado" lo he deshechado ya que desde mi punto de vista no compensa la dificultad real de realizarlo con los resultados que se obtienen, pues los dos supuestos de los que parte:

1) que cualquier pez tiene la misma probabilidad de ser

capturado y 2) que el pez marcado está distribuido al azar desde luego no se cumplen en estos ríos en los que la segregación de los peces no es un producto del azar sino de factores determinados y en donde muchos teleósteos viven en lugares de acceso mucho más difíciles que otros. Por otra parte, tampoco he considerado fiable el Método de las regresiones de Lury debido al carácter abierto del Sistema.

En la Tesina se admitía como relativamente fiable para algunas especies capturadas el criterio de los círculos concéntricos en escamas y otolitos para agrupar los peces por edades, y en base a esta agrupación se comparaban los coeficientes de condición obtenidos por especie y sexo. También se analizaban los contenidos estomacales (sin hacer índices de llenado) y finalmente se comparaban globalmente los espectros ecológicos suministrados por bioensayos para O.D.,  $T^a$ , pH, conductividad,  $SO_4$ ,  $NO_3$  y  $PO_4$ , con las condiciones físico-químicas reales obtenidas en el río, trazándose unas figuras superpuestas para cada estación de muestreo entre los espectros globales que representan los límites de seguridad de Salmónidos y de Ciprínidos y los resultados obtenidos, visualizándose así rápidamente cual de esos factores crecía peligrosamente en cada caso para limitar potencialmente la distribución de los Teleósteos. Al no existir variaciones apreciables remito al lector interesado a dicha tesina y pasaré aquí solo a describir algunos aspectos ecológicos no tratados en la tesina que creo merecen suponer un complemento adecuado.

Desde mi punto de vista los factores que más inciden en la distribución encontrada son: la Temperatura, la velocidad de la corriente, las fluctuaciones en el caudal, el substrato y en menor medida las sales disueltas como factores naturales y la contaminación amén de factores bióticos tales como alimentos disponibles, competencia etc.

Si empezamos a recorrer el río desde la cabecera comprobamos que ya desde aguas abajo de la estación 1 y hasta aguas arriba de la estación 4 encontramos Salmo trutta fario, debiendo señalar que desde el punto de vista del Modelo de Huet, esta zona correspondería a la zona de la trucha y a la del timalo. Con relación a los parámetros que actúan como limitantes de la trucha parece claro que su reofilia (necesaria para su alimentación tipo drift) ligada a su condición de polixiestenobionte (la trucha comienza a pasarlo mal a concentraciones de O.D. de 5 mg/ litro) y a su psicofilia (necesitan una temperatura menor de 14,4 ° C para poder reproducirse) explican su distribución en la zona más alta y sin contaminar del Sistema, pero sin embargo desde mi punto de vista el factor que va a desempeñar el principal papel en cuanto a barrera, pues por condiciones físico-químicas potencialmente podríamos encontrar truchas hasta aguas arriba de la estación nº 6, debe constituirlo las fluctuaciones en el caudal, especialmente peligrosas después de la puesta. Recordaré que las truchas frezan en invierno y que precisamente son las estaciones 5 y 6 en donde mayores son a finales de invierno y primavera las crecidas, que generan inundaciones que son sin

duda deletéreas para los huevos y pequeños alevines de Salmo trutta fario. Durante el verano en cambio, al superar las aguas de estas estaciones los 20°C se establece una verdadera barrera térmica en consonancia con los datos suministrados por los bioensayos según los cuales parece desprenderse que Salmo trutta fario se alimenta sólo en la franja de los 10 a los 19°C, inhibiéndose por encima de esta temperatura tanto en lo referente a la alimentación, como en lo concerniente con el desarrollo y la actividad general.

En esta zona de distribución de la trucha encontramos de todas maneras algunas diferencias apreciables, tanto en las mismas truchas como en otras especies de Teleósteos que las acompañan e interaccionan con ellas. Así si comparamos los índices de desarrollo encontrados para truchas de aguas ácidas y para truchas de aguas más duras (en el Sistema se refiere a las especies delimitadas entre las estaciones 1 y 2 y en concreto al coto de la Huerce-Valverde de los Arroyos, y entre las estaciones 2 y 4 y en concreto al coto de la Mierla) parece desprenderse que Salmo trutta fario crece más deprisa en aguas duras, aunque el significado ecológico de la relación crecimiento-edad (con lo relativo de cifrar la "edad" por los círculos concéntricos de las escamas) no esté del todo claro. De todas formas, la presa del Embalse del Pozo los Ramos, constituye una eficaz barrera, unidireccional al menos, (las truchas de aguas abajo de la estación 2 no pueden por su causa remontar aguas arriba) que reduce la posibilidad de viajar de

esta especie, ya de por sí bastante sedentaria, estableciendo artificialmente una frontera entre las aguas oligotróficas y las mesotróficas. Posiblemente estas diferencias en el índice de desarrollo estén mas relacionadas con las variaciones de temperatura (según los bioensayos el desarrollo se inhibe por debajo de los 7°C) que con variaciones de otros factores tales como la concentración de sales disueltas o la alimentación. De hecho las ya clásicas experiencias de Brown (1.946) que comprobó experimentalmente como la caída de *Tra.* inhibía el crecimiento y como a temperatura constante *Salmo trutta* mantenía uniforme un ritmo de crecimiento, parecen confirmar esta hipótesis. De hecho, el análisis de los contenidos estomacales no parece mostrar grandes variaciones, pues aparte de los restos de insectos aéreos, tanto Ecdionúridos como Tricópteros parecen en ambos lugares su alimento fundamental. Sin embargo, aguas abajo del Pozo los Ramos junto con *Salmo trutta fario* hemos capturado abundantísimos ejemplares de cacho "*Leuciscus cephalus*" y unos pocos ejemplares de boga "*Condrostoma polylepis*". El análisis del contenido estomacal de *Leuciscus* es muy parecido al de la trucha, sugiriendo esto que los cardumenes de cachos en esta zona pueden competir directamente por el alimento con *Salmo trutta fario*. Es más, la presencia frecuente de restos de *Leuciscus cephalus* en el estomago de la trucha, sugiere que esta competencia no es pasiva sino activa y que existe una especie de equilibrio controlado entre las poblaciones de ambos teleósteos, así el clásico equilibrio "presa (*Leuciscus*) - depredador (*Salmo trutta fario*)" obtiene un mecanismo de control que permite perpetuarlos

sin grandes desajustes, pues si bien Salmo trutta fario es capaz de reducir las poblaciones de cachos, éstos a su vez al ser capaces de depredar huevos y alevines de trucha, pueden controlar la población de su depredador Salmo trutta fario. Ambas especies de teleósteos, a diferencia de otros del Sistema, son activos durante todo el año y tienen desplazadas sus épocas de freza (L. cephalus lo hace bien entrada la primavera) todo lo cual permite que esta "pugna" pueda mantenerse continuamente, asegurando así la existencia de "tiempo" suficiente que actúe a modo de "colchón" para que los pequeños desequilibrios producidos puedan reajustarse y ambas poblaciones no sufran cataclismos.

El gregarismo observado en el Sistema para Leuciscus cephalus, unido a su condición "euri" sin lugar a dudas contribuye a que posiblemente sea esta especie la más abundante del Sistema, dado que al asociarse en cardumenes, el cacho no sólo encuentra favorecida su reproducción en la medida que le es más fácil aparearse sexualmente, sino que también obtiene una serie de ventajas, que aparte de la defensa del grupo que ejerce el efecto de la masa ó la supuesta secreción de ectovacunas que producen una especie de inmunización del cardumen, les permiten de algún modo ajustar cronológicamente las fases embrionaria y larvaria, de tal modo que estas ocurren al mismo tiempo para todo el grupo y más rápidamente, con lo que sus depredadores, las truchas, pese a tener a su disposición un gran número de presas simultaneamente, la limitación en tiempo de la duración de estos períodos no les permite mermar irreversible-

mente la población de cachos.

Esta zona inferior en la que la trucha se ve acompañada por Leuciscus cephalus y Condrostoma polylepis, aproximándonos al esquema de Huet constituiría a "grosso modo" la típica "zona del timalo", y los peces que en ella aparecen en el Sistema: Leuciscus cephalus, Condrostoma polylepis, Barbus barbus bocagei y Rutilus arcassi no son especies exclusivas de esta zona, ya que todas ellas, en mayor o en menor medida, son especies bastante euri que también están presentes en otras estaciones del Sistema, testimoniando una especie de solapamiento entre la zona del timalo y la zona del barbo.

A partir de la estación 5 entramos de lleno en la "zona del barbo" que va a constituir potencialmente todo lo que queda de Sistema. Sin embargo esta región no presenta características homogéneas debido fundamentalmente a los aportes de vertidos contaminantes que ejercen una influencia considerable en la distribución de los teleósteos en este tramo.

Así desde la estación 5 y hasta Guadalajara los vertidos procedentes de las granjas agrícolas y de los asentamientos humanos de Yunquera de Henares, Fontanar y Guadalajara se traducen en un enriquecimiento de nutrientes que permite un aumento tanto en abundancia como en la diversidad de los teleósteos, y así es fácil apreciar barbos y bogas en las proximidades de los puntos de vertidos, así como capturar en verano numerosísimas cardumenes de bermejue-

las (R. arcassi) que testimonian la tendencia eutrofizante de la zona y que al ser seres que soportan bien el déficit de O.D. inducido por el incremento de la materia orgánica, pueden medrar sin problemas allí donde se producen incrementos en la  $DBO_5$ , buscando siempre aguas más calmas, por eso son abundantes en las orillas, y seleccionando los lugares más ricos en microalgas con fondo pedregoso. Una característica que presentan todos los peces de esta zona es que frezan aproximadamente en la misma época del año (Abril-Mayo) lo que parece sugerir, que el aporte continuo de nutrientes es suficiente para reducir la competencia tanto inter como intraespecífica.

Aguas abajo de esta zona la acción de los vertidos de Guadalajara constituye durante el estiaje no sólo una barrera en el Sistema (los niveles de O.D. decaen entre Guadalajara y la estación nº 7 por debajo de 3 ppm) sino también un factor discriminante en la medida que origina una substitución importante en la fauna piscícola, reduciendo se significativamente las poblaciones de bogas y barbos en detrimento de carpas y carpines (Ciprinus carpio y Carassius auratus) que parecen ser los únicos teleósteos pobladores perennes de las estaciones 7 y 8. Esta substitución de la boga y el barbo por la carpa y el carpín no puede explicarse como se hace clásicamente por un efecto térmico, pues aguas abajo de estas estaciones vuelve a reinvertirse esta distribución, sino por efecto de la contaminación fundamentalmente orgánica aportada por Guadalajara ya que carpa y carpín son especies mucho más resistentes



a una severa contaminación orgánica y toleran mucho mejor bajos niveles de oxígeno disuelto. Por otra parte, la superabundancia de nutrientes aportados por los vertidos orgánicos y la deposición en el fondo de lodos que modifican profundamente el sustrato, posibilita el crecimiento de abundante vegetación, entre la cual pueden estos ciprínidos seleccionar aquella de carácter intermedio que resulte idónea para la puesta de sus huevos (¿tal vez necesiten del O.D. local producido por fotosíntesis?), que tiene lugar, a diferencia de las otras especies ya analizadas, más tarde (sólo cuando el agua alcanza permanentemente una temperatura igual o superior a los 18°C) lo que testimonia una doble adaptación; por un lado el estrecho equilibrio "luz-temperatura-vegetación con la reproducción" y por otro el que este desfase con relación a otras especies les permite que la puesta de sus huevos y sus primeros estadios ocurran cuando ningún tipo de teleósteo pueda medrar en esa zona, con lo cual la depredación y la competencia con otras especies desaparece prácticamente. Durante el mes de Julio puede apreciarse a las carpas frezando en superficie en las estaciones 7 y 8.

Durante el invierno y al igual que los barbos que hibernan en grupos debajo de piedras y vegetación, la carpa (Ciprinus carpio) hiberna en grupos dejando de alimentarse, según los datos de los bioensayos a partir de los 5°C y reduciendo drásticamente su desarrollo por debajo de los 13°C.

A medida que las aguas, debido al poder autodepurador del

río, van mejorando su calidad vuelven a aparecer otras especies características de la zona del barbo (junto con carpa y carpin están presentes en las orillas bermejuelas que durante el estiaje quedan presas en las charcas eutrofizadas) y así la aparición de colmillejas (Cobitis taenia) aguas abajo de la estación 8 parece testimoniar esta mejora.

Al llegar a la estación 9 y con la doble acción inducida por la represa de la Oruga, por un lado en cuanto permite la sedimentación de los sólidos en suspensión transportados por el Henares, y por otro al crear otra nueva barrera al menos unidireccional, con la consiguiente reoxigenación producida por el salto de agua, vuelven a reaparecer especies que clásicamente deberían ocupar toda la zona como Barbus barbus bocagei y Condrostoma polylepis lo que testimonia que la conductividad y otros iones (tan altos como en la estación 7 y 8) no son factores que afecten en el Sistema a su distribución. Un fiel testimonio de esta mejora lo constituyen las capturas de Gobio gobio, teleosteo que según la bibliografía tiene su hábitat óptimo en la zona del timalo (en el sistema no ha sido capturado en esta zona, por ende bastante corta), pero que también puede darse bien en la zona del barbo, a condición de que ésta no se encenage (esto explica que se dé aguas abajo de la represa). El gobio aparece en el Sistema como un pez sedentario fundamentalmente asociado a las graveras que selecciona para poner sus huevos aunque también se le encuentra sobre fondos arenosos (a veces ha sido capturado

incluso durante el muestreo de los macroinvertebrados bén ticos). Lo limitado de su distribución en el Sistema, a- parte de interacciones biológicas (depredación por el barbo) y de la necesidad de un sustrato no cenagoso, posiblemente sea función de la temperatura, pues a diferencia de los teleósteos que en el Sistema pueblan la zona del tímalo, necesita una temperatura algo mayor (17ºC) para ini- ciar su reproducción, perjudicándole tanto las aguas de- masiado frías que le hacen hibernar, como demasiado calientes (soporta mal a partir de 25ºC).

Los vertidos de Alcalá, al reducir totalmente los niveles de oxígeno disuelto, amen de otros vertidos tóxicos libe- rados por los polígonos industriales son suficientes para acabar con la vida de los teleósteos del Sistema durante un trecho muy largo, pues antes de que el río pueda auto- depurarse recibe el fuerte impacto de Torrejón y sólo ya a punto de vertirse al Jarama a la altura de Mejorada a- bundan los teleósteos más resistentes (Gambusia affinis) que ejercen una considerable influencia en la reducción de las larvas de Culícidos. Así pues, desde Alcalá hasta Me- jorada en el río Henares se genera una barrera infranqueable que aísla a los peces de nuestro sistema del resto de los teleósteos de la cuenca del Tajo, con lo cual desde Guadalajara hasta Alcalá, durante el estiaje, los peces quedan atrapados en una bolsa, que de seguir incrementán- dose los vertidos al ritmo que lo han hecho en los últimos diez años, amenazan seriamente su supervivencia.

# Bibliografía

- Arrignon, J. (1.979)  
Ecología y Piscicultura de aguas dulces. Ed. Mundi-  
Prensa.
- Erichsen Jones, J.R (1.973)  
Fish and river pollution. 4ª ed. Butterworths co.  
London.
- Gutierrez Calderón, Saez Royuelds E. (1.965)  
Introducción al estudio de la nocividad de distintas  
sustancias químicas sobre la fauna acuática de los  
ríos españoles. Anales del Inst. Forestal de investi-  
gación y experiencia.
- Hellawel, J. (1.976)  
Biological monitoring of inland fisheries. Ed. Alabas  
ter J.S. Applied Sciences publishers. London
- Hynes, H.B.N. (1.976)  
Ecology of running waters. Liverpool University Press
- Lagler, K.F. (1.971)  
Methods for assesment of fish production in fresh wa-  
ter. Blackwell scientific publication. Oxford. Edim-  
burgh.
- Larsson, A. (1.977)  
Effects of pollutants in aquatic organisms. Cambridge  
University Press.
- Lozano Cobo, F. (1.964)

Los peces de las aguas continentales españolas.  
Ministerio de Agricultura.

- Maitland, P.S. (1.977)  
Fresh waters fish of Britain and Europe. Hamlyn Group  
London
- Meynell, P. (1.974)  
Problemas de contaminación de las aguas. Facultad de  
Ciencias Biológicas. Universidad Complutense. Madrid
- Muus B y Dahlstrum, P (1.975)  
Los peces de agua dulce de España y Europa. Ed. Omega.
- Ramade, F (1.977)  
Elementos de ecología aplicada. Ed. Mundi Prensa  
(Madrid)
- Verneaux, J. (1.979)  
La contaminación de las aguas continentales. (obra co-  
lectiva presentada por Pesson, P) Ed. Mundi Prensa  
Madrid.

#### Esbozo microbiológico del Sistema Sorbe-Henares

Esta parte la he denominado "Esbozo microbiológico" consciente de que comparada con las demás resulta incompleta. Ello es debido a la falta de medios propios y de tiempo que son imprescindibles para este tipo de investigaciones. Mi trabajo se ha limitado a un diseño que no ha podido cumplirse más que parcialmente, a la toma de muestras, a la búsqueda de patógenos (Salmonella-Shigella) y a la interpretación de resultados, realizando la rutina la Delegación Provincial del Ministerio de Sanidad y Seguridad Social de Guadalajara para los análisis correspondientes al número de colonias y número más probable de coliformes fecales, Streptococcus faecalis, Clostridiums, y presencia ó ausencia de E. coli, que son los parámetros clásicos que controla Sanidad para aguas potables, con una periodicidad de seis muestreos al mes en cada estación.

Los resultados obtenidos han sido:

(Nota: el signo ↑ indica "más de")

ESTACIONES nº Colonias/ml C. faecales E. coli S. faecalis Clostridium Salmonella Shigella

|    |                                  |          |   |     |     |
|----|----------------------------------|----------|---|-----|-----|
| 2  | 10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> | 43-460   | ⊖ | ⊖   | ⊖   |
| 3  | 10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> | 150-1100 | ⊖ | ⊖   | 5   |
| 4  | 10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> | 240-1100 | ⊕ | ↑10 | 10  |
| 5  | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> | 400-1100 | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 6  | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> | 400-1100 | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 7  | 10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 8  | 10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 9  | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 10 | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 11 | 10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 12 | ↑10 <sup>6</sup>                 | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |
| 13 | ↑10 <sup>6</sup>                 | ↑1100    | ⊕ | ↑10 | ↑10 |

NMP/100 ml

Como para el Ministerio de Sanidad el problema se reduce a señalar que a partir de la estación 5 las aguas del río Henares no son potables, debido a la importancia que tienen los microorganismos en los ecosistemas fluviales quiero sacarle el máximo partido a la poca información disponible, para por lo menos dar una idea general de que es lo que ocurre y cual es el papel que juegan los microorganismos en el Sistema.

Esta información aparte de los resultados obtenidos directamente, también tiene una procedencia "indirecta", que es válida a "grosso modo" pues proviene de unir los testimonios directos con todo el conjunto de conocimientos que sobre el Sistema poseo, y en este sentido la arquitectura de lo "sabido" permite deducir en parte lo "desconocido", al igual que ocurre en un puzzle al que sólo faltan unas piezas. Por otra parte, los procesos microbiológicos en los ríos son universales de tal modo que los microorganismos en los ríos siempre realizan una doble función, consistente en que por un lado van a ser los principales responsables de la depuración biológica de las aguas, destruyendo la materia orgánica merced al establecimiento de redes biodegradativas cometabólicas, con lo cual aseguran el retorno de los nutrientes al ciclo de la materia para que los seres fotosintéticos puedan seguir produciendo materia orgánica, y por otro lado van ellos mismos a servir de alimento a toda una gama de seres (Ciliados, Rotíferos, Símúlidos Chironomus, Ciclops, Moluscos filtradores etc..) con lo que constituyen los eslabones más bajos de las redes trófi



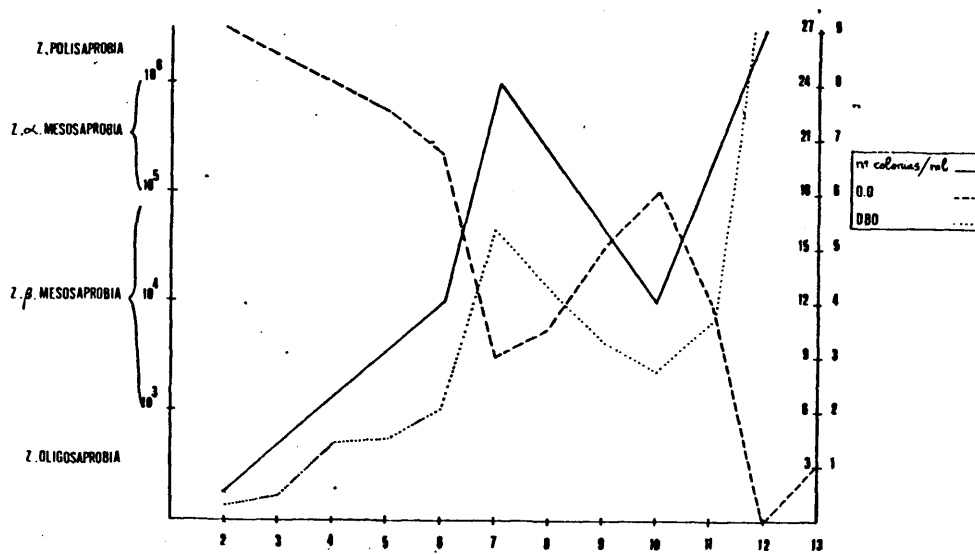
cas. Una tercera función, en cuanto organismos productores (bacterias fototróficas y quimioautotróficas), no parece ser importante en el Sistema en su conjunto debido a su carácter de anaerobios obligados ó de microaerófilos, que no pueden resistir niveles altos de O.D., y que necesitan suficiente luz y dadores especiales ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$   $\text{H}_2$ ), condiciones que desde luego no caracterizan las aguas fluviales. Sólo a partir de la estación 11, en verano y en condiciones muy localizadas, podrían jugar un pequeño papel este tipo de organismos, razón por la cual excluí del diseño inicial el estudio de este tipo de bacterias.

Los microorganismos en los ríos, por otra parte, siempre están expuestos a las influencias terrestres, de tal modo que la proporción de bacterias autoctonas es mucho menor que en las aguas estancadas, en las que la estratificación reduce considerablemente la influencia de los alrededores.

De estos dos tipos de consideraciones, podemos deducir que lo que ocurre en el Sistema Sorbe-Henares va a ser bastante similar a lo que acaece en ríos de características parecidas y de ahí el que a "grosso modo" y siempre basados en el conocimiento preciso de los productos generados en las redes cometabólicas microbianas del Sistema, el que puedan extrapolarse, siempre de forma aproximativa claro está, es es quemas generales, por otra parte, repito, universales, de depuración biológica.

Si con este criterio, aplicamos al Sorbe y al Henares el sistema de los Saprobios de Kolwitz, distinguimos las si-

siguientes zonas:



#### Análisis de las variaciones estacionales en el nº de colonias.-

Lo primero que hay que señalar es que los contajes en cada estación sufren tremendas oscilaciones, sin embargo dos hechos aparecen suficientemente claros:

- En la zona Oligosaprobía el número de colonias máximo en el Sistema Sorbe-Henares siempre se da en el Otoño.
- En las zonas Mesosaprobias este máximo está desplazado y se da siempre en invierno.

Esto nos sugiere que los nutrientes, la temperatura y la luz van a ser aquí también, aparte de las interacciones biológicas, los factores claves que gobiernen las fluctuaciones estacionales en el número de microorganismos.

En principio no parece difícil explicar el porqué en las zonas mesosaprobias es mayor el número de colonias durante el invierno: El simple descenso de la temperatura se traduce en una caída del metabolismo bacteriano, con lo cual además de aumentarse el tiempo de supervivencia de los microorganismos, quedan también más nutrientes disponibles, ya que no son utilizados tan rápidamente como durante el verano. Por otra parte durante el estío las altas intensidades lumínicas ejercen un efecto bactericida notable, el metabolismo microbiano duplica aproximadamente su actividad por cada 10°C de subida, llegándose a producir fenómenos de autólisis y por último también en función de la elevación de la temperatura se estimula la actividad de muchos organismos depredadores de bacterias, especialmente protozoos que son capaces de reducir considerablemente las poblaciones de estos microorganismos.

Con relación al porqué en la zona oligosaprobia el máximo no se presenta en invierno sino durante el Otoño, la única explicación que se me ocurre, es que como se trata de un tramo no polucionado el número de bacterias depende mucho más de los nutrientes que llegan al río (p. ej. hojas caídas y en general aportes de materia orgánica alóctona), de tal forma que el número máximo no ocurre en invierno sino en el tiempo de mayor producción de estos nutrientes. A favor de esta hipótesis está el que en este tramo durante el Otoño se dan los valores de  $DBO_5$  más altos de todo el año.

Hecha esta consideración inicial pasaré a analizar en detalle cada una de estas zonas para mostrar que las diferen-

cias entre ellas no sólo son un problema de número sino también de calidad.

#### A) Zona oligosaprobía

En el Sistema está representada por el tramo del Sorbe que va desde aguas abajo de la estación nº 1 hasta la estación 3. Es la zona de aguas limpias, potables y pobres en nutrientes. El nº total de colonias oscila de  $10^2$  a  $10^3$  por mililitro. Este número es tan escaso debido fundamentalmente a la baja concentración de nutrientes, la cual es responsable además de que muchas bacterias se encuentran a menudo degeneradas e inhibidas en su crecimiento. Como ya vimos, el número máximo de colonias siempre se da aquí en Otoño, siendo particularmente llamativos los "picos" encontrados coincidiendo con los arrastres húmicos, que aparte del enriquecimiento en Nitrógeno, aportan las bacterias propias del suelo que es lavado. Dentro del diseño inicial estaba previsto caracterizar y cuantificar "Achromobacter" y "Flavobacterium" que según la bibliografía deberían ser aquí los géneros que representarían más del 80% de las poblaciones bacterianas. Estos análisis no pudieron sin embargo llevarse a efecto.

La pobreza en nutrientes de las aguas sólo puede mitigarse en parte por los aportes terrestres consistentes fundamentalmente en esta zona en las espículas de pinos, hojas de Quercus pyrenaica, de Quercus ilex y finalmente de Alnus glutinosa y por los fuertes arrastres húmicos, favorecidos por la escasa cubierta vegetal y la pendiente de las lade-

ras. Esta materia orgánica en principio debe incrementar los organismos aerobios típicos de la descomposición de la celulosa y hemicelulosa, tipo de las Myxobacterias (Cytophaga y Sporocytophaga) y Actinomicetos. Sin embargo las bajas temperaturas que alcanza en esta parte el Sistema a partir de entrada el otoño, hace que la actividad de estos microorganismos sea muy baja y que sólo puedan jugar un papel importante de Junio a Octubre. (Las bacterias descomponedoras de la celulosa no son psicrófilas sino mesófilas).

Con relación a las bacterias envueltas en el ciclo del Nitrógeno, los valores encontrados son:

|           | NH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Verano    | 0 - 0,01        | 0 - 0,03        | 0,1 - 2         |
| Otoño     | 0,06-0,01       | 0,02 - 0        | 2,2 - 2,5       |
| Invierno  | 0,06-0,02       | 0,01 - 0        | 2,2 - 3,1       |
| Primavera | 0,05-0,01       | 0,012- 0        | 1,1 - 3,5       |

Con relación a la oscilación de la concentración de amoníaco, ésta es ligeramente más alta durante el otoño y el invierno, sugiriendo esto el que en este tramo del río, no contaminado y con valores de O.D. siempre altos, debe producirse en invierno un aumento en el número de bacterias de la putrefacción descomponedoras de Proteínas y Aminoácidos, sin que ese aumento encuentre una correspondencia en las nitritobacterias, que sólo a partir de que el agua alcanza alrededor de los 12° C parece que pueden medrar y bajar los niveles de NH<sub>3</sub>. El que en verano se alcancen valores para el amoníaco de 0, parece sugerir que es en esta

estación cuando debe ser máximo el número y la actividad de estas nitritobacterias. Esto está de acuerdo también con el conocimiento de que las nitritobacterias necesitan un umbral de 10 a 15° C para poder desarrollarse bien (Rheinheimer, 1.965).

Con relación a las bacterias de la Nitratación, los niveles de  $\text{NO}_2$  decrecen en invierno lo que parece sugerir que las nitratobacterias son máximas en invierno, aunque la variación estacional de los niveles es tan baja que esto puede considerarse sólo como indicativo. Por otra parte se sabe que las altas intensidades lumínicas del verano son capaces de inhibir mucho más a las Nitrobacter (Nitratobacter) que a las Nitrosomas (Nitritobacterias) (Bock, 1965).

Respecto a los microorganismos implicados en procesos anaerobios (Clostridium y Pseudomonas para la celulosa; bacterias desnitrificantes tipo Thiobacillus y Micrococcus, y bacterias desulfurizantes tipo del Desulphovibrio), desde luego dados los elevadísimos niveles de O.D. en el Sistema, no pueden medrar salvo en puntos muy localizados (en el embalse del Pozo de los Ramos) donde se producen acúmulos de sedimentos húmicos.

El análisis sanitario de Coliformes fecales y Streptococcus faecalis revela la inexistencia de una contaminación fecal apreciable.

#### B) Zona $\beta$ -mesosaprobia

Se extiende esta zona a lo largo de los siguientes tramos

del Sistema:

- 1) Desde aguas abajo de la estación nº 3 hasta Guadalajara (aguas arriba de la estación nº 7)
- 2) Desde aguas abajo de la estación 9 hasta la estación nº 10.

Los dos tramos sin embargo presentan características bastante diferenciadas que conviene analizar. Así en el tramo 1º encontramos un número aproximado de colonias que oscila entre  $10^3$  y  $10^4$ /ml; explicándose este aumento en el número de bacterias por el enriquecimiento en nutrientes del agua, que proceden de distintos orígenes entre los que cabe destacar los aportes naturales provenientes de las aguas del Henares más ricas en sales debido a las litofacies atravesadas; al lavado de suelos en una zona prácticamente desprovista de cubierta vegetal, muy pendiente por la margen izquierda y los aportes contaminantes de aguas negras procedentes de pueblos relativamente importantes como son Yunquera y Fontana r, amén de la contaminación agraria que empieza a impactar el río debido al aprovechamiento agrícola del valle.

Este aumento del número de nutrientes y por ende del nº de colonias no debe ser sin embargo considerado como un simple aumento cuantitativo de las especies existentes aguas arriba, sino como una sustitución de comunidades, donde ya no predominan las bacterias oligotróficas (Achromobacter y Flavobacterium) sino los gérmenes mesotróficos y eutróficos, aunque el número de bacterias procedentes del suelo

(posiblemente Azotobacter, Nitrosomonas y Nitrobacter..) siga siendo muy alto. Pese a no tener pruebas directas de esta sustitución de comunidades, existen una serie de indicios que así parecen testimoniarlo, entre ellos cabe destacar:

- a) En la búsqueda de organismos patógenos, tipo de Salmonella y Shigella, si bien los análisis han dado negativos para estos dos géneros, en todas las placas han aparecido cantidades ingentes de colonias de "Pseudomonas" y "Bacillus".
- b) Los datos físico-químicos revelan que en esta zona se acentúa la mineralización, con un fuerte enriquecimiento de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NO}_3$  que se testimonia con el desarrollo de microalgas tan indicativas como Cladophora, Clorella, Scenedesmus y Pediastrum, capaces de estimular a las bacterias nitrificantes al incrementar la intensidad de la fotosíntesis.
- c) El análisis sanitario encuentra ya resultados positivos para Coliformes fecales y Streptococos faecalis. Si nosotros pensamos que desde el punto de vista de la Higiene Ambiental, los análisis más que buscar en un principio tal ó cual patógeno, lo que tratan es de definir cual es el conjunto de circunstancias para las que esta presencia es posible, la presencia permanente de Coliformes fecales, clara y fácilmente diferenciables, debido a esta adaptación tan característica de los organismos que viven en los intestinos, mediante la cual elevan su resistencia a temperaturas de cultivo elevadas (Los FC se incuban a  $44 \pm 0,5^\circ$ ) y de Streptococos fecales (referidos al conjunto de Strep-



tococos que poseen el antígeno característico del grupo D de Lancefield (S. faecalis liquefaciens y S.f. zymogenes, S. faecium, S. durans, S. bovis y S. equinus) que complementan el diagnóstico de la contaminación fecal, además de por su origen, por su fuerte resistencia con relación a inhibidores bacterianos fuertes (tipo de la azida sódica), constituye de por sí una clara indicación tanto de esta modificación de condiciones ambientales como de la sustitución de comunidades acaecida.

Por otra parte, con relación a las bacterias involucradas en el ciclo del Nitrógeno, los valores encontrados para  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$  parecen confirmar también el mismo esquema de funcionamiento que en las estaciones sitas aguas arriba, siendo la concentración de  $\text{NH}_3$  ligeramente más alta durante el invierno, lo que sigue sugiriendo un aumento en el número de bacterias de la putrefacción y una disminución en el número y en la actividad durante el invierno de las nitritobacterias. A la baja de valores de  $\text{NH}_3$  encontrados en Primavera y Verano posiblemente contribuyan las microalgas que lo utilizan como fuente de Nitrógeno.

|           | $\text{NH}_3$ | $\text{NO}_2$ | $\text{NO}_3$ |
|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Verano    | 0,01 - 0,02   | 0,03          | 3 - 9         |
| Otoño     | 0,04 - 0,06   | 0,02          | 6 - 16        |
| Invierno  | 0,05 - 0,08   | 0,01          | 3,5- 4,5      |
| Primavera | 0,01 - 0,02   | 0,02          | 3,2- 4,1      |

Por otra parte los niveles de  $\text{NO}_2$  son más altos en verano,

lo que puede sugerir un menor número de las nitratobacterias por el efecto inhibido de la intensidad lumínica, más que una disminución de su actividad, pues aunque la subida de la  $DBO_5$  reduce los niveles de O.D., éstos no son nunca lo suficientemente bajos como para inhibir la acción de estos microorganismos.

Con relación al tramo 2º (aguas abajo de la estación 9 - estación nº 10) la situación es algo diferente, jugando aquí una mayor influencia los aportes orgánicos procedentes de aguas arriba que el lavado de los suelos. La mayor conductividad del agua, sin llegar a niveles de salinidad perjudiciales para la mayoría de los microorganismos, indica claramente que el agua es más rica en nutrientes y posiblemente ésta sea la causa de que el número de colonias sea aquí más elevado que en el otro tramo, oscilando los contajes de  $10^4$  a  $10^5$  por mililitro.

Los valores para  $NH_3$ ,  $NO_2$  y  $NO_3$  varían en la misma pauta que los del primer tramo sugiriendo también el mismo esquema de variación para los microorganismos implicados en dichos procesos.

|           | $NH_3$      | $NO_2$      | $NO_3$    |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
| Verano    | 0,01 - 0,03 | 0,058 - 0   | 3,9 - 6,6 |
| Otoño     | 0,01 - 0,03 | 0,01 - 0,03 | 4,1 - 9   |
| Invierno  | 0,01 - 0,04 | 0,02 - 0,04 | 1,8 - 4,4 |
| Primavera | 0,01 - 0,03 | 0,01 - 0,03 | 1,8 - 4,1 |

El análisis sanitario sigue revelando la presencia clara de contaminación fecal, dando siempre los análisis de C.F. un NMP mayor de 1.100, lo cual no es de extrañar si conocemos que el tiempo medio de supervivencia de los Coliformes en aguas eutróficas es de alrededor de unos 40 días, y que en Guadalajara, sita sólo a 20 Kms más arriba se ha producido una fuerte contaminación fecal.

Con relación a los anaerobios el análisis sanitario da valores siempre superiores a 10/25 ml. de Clostridium - sulfitorreductores, lo cual testimonia que en ambos tramos sí pueden producirse procesos anaerobios; curiosamente parece que el nº de Clostridiums se incrementa más en el 1º tramo (digo "parece" pues Sanidad muy pocas veces tituló cuantos, limitándose la mayoría de las veces a decir sólo más de 10 con lo cual estos datos carecen de significación estadística) en la época de las inundaciones, lo que sugeriría un mayor aporte de Clostridium de origen telúrico para el primer tramo y una mayor cantidad de Clostridium fecales para el segundo.

C) Zona  $\propto$  -mesosaprobia  
=====

Se extiende esta zona a lo largo de los siguientes tramos del Sistema:

-Tramo 1º: Desde Guadalajara hasta aguas arriba de la estación 9.

-Tramo 2º: Desde el segundo vertido de Alcalá (aguas abajo de la estación nº 10) hasta la estación nº 11.

El nº de colonias en los dos tramos oscila entre  $10^5$ - $10^6$ /ml jugando un papel primordial en su origen la contaminación típica de aguas residuales. En el diseño experimental estaba previsto caracterizar "Siderocapsa treubii" que según la bibliografía es una especie autóctona cuyo incremento en número parece definir el tránsito de la zona  $\beta$  a la zona  $\alpha$ .

Numerosos experimentos en todo el mundo han permitido caracterizar bien la microflora de las aguas negras urbanas, que son las principales responsables de la existencia de esta zona, estando permanentemente formada por Pseudomonas fluorescens, P. aeruginosa, Proteus vulgaris, Bacillus subtilis, Bacillus cereus, E. coli, Aerobacter aerogenes, Streptococcus faecalis etc.. y pese a que varien sus frecuencias relativas y la abundancia de los microorganismos que acompañan a estas especies en función de la naturaleza del efluente, en general puede afirmarse que esta microflora es universal lo que justifica el que frente a aguas negras siempre se utilizan los mismos tipos (filtros biológicos ó lechos bacterianos) de depuradoras. (Vease J.I. Elorrieta "Zonación en ríos y ecología de la depuración" Curso postdoctoral sobre "Procesos biológicos en la depuración de aguas" en la escuela de Ingenieros de Caminos y Puertos. Instituto Agustín de Betancourt. (1.979))

Los nutrientes en este tipo de aguas residuales están constituidos fundamentalmente por azúcares, aminoácidos y sales amoniacales predominando pues las bacterias de la putrefacción en un número tan grande que hacen caer llamativamente los niveles de O.D. Esta zona pues, a diferencia

de la anterior, va a estar caracterizada por el predominio de las bacterias saprofitas sobre las autotróficas, aunque estas sigan aún bien representadas, no hay que pensar más que Nitrosomonas, Nitrobacter y Nitrosococcus requieren tan poco oxígeno disuelto como 1 mg/L, 2 mg/L ó 0,08 mg/L respectivamente. Así pues va a predominar fuertemente la descomposición sobre la mineralización.

La amplitud de esta zona va a variar según la eficacia de la autodepuración dependiendo esta a su vez de la estación fenológica. Así río abajo a medida que va siendo degradada la materia orgánica va decreciendo el número de bacterias saprofitas que son sustituidas por números cada vez más elevados de descomponedoras de celulosa (recuerdo que tras los vertidos orgánicos siempre suelen producirse fenómenos de eutrofización que posibilitan un fuerte enriquecimiento en Macrófitas). Rheinheimer (1.966) demostró que el río Elba (posiblemente el más estudiado del mundo desde el punto de vista microbiológico) a medida que progresa la autodepuración, no sólo disminuye la concentración de polucionantes, sino también el número de bacterias saprofitas, los gérmenes de la putrefacción, los tiobacilos, los coliformes y las levaduras. Estas sustituciones que acaecen universalmente en los ríos para vertidos de aguas negras, van a verse acelerados o retrasados por otra serie de factores, que por otra parte son los que van a explicar en nuestro sistema la diferencia entre los dos tramos que caracterizan a esta zona.

Así el primer factor a tener en cuenta para la extensión

de esta zona es la velocidad de la corriente, siendo mucho más eficaz la autodepuración (y por tanto más corta la zona) cuanto mayor es esta velocidad.

Así los vertidos urbanos de Guadalajara serían suficientes para que la zona del Henares que los recibe fuera polisaprobía, sin embargo la velocidad de la corriente por un lado causa una rápida distribución de las aguas residuales, y por otro permite un mayor intercambio de gases con la atmósfera, con lo que por turbulencia se "atrapa" el oxígeno suficiente para que los procesos de descomposición aeróbica puedan seguir realizándose, con lo cual la zona siempre queda en "α", no alcanzándose los valores de "poli"saprobiedad. En el segundo tramo de esta zona, con mucha menor velocidad de la corriente, la zona α se origina por una serie de pequeños vertidos consecutivos que van deteriorando gradualmente la calidad del agua.

Las estaciones fenológicas por su parte también modulan la eficacia de la autodepuración y así en verano, pese al menor caudal y por tanto menor velocidad de la corriente, la mayor temperatura del agua acelera el metabolismo bacteriano, mientras que simultáneamente la mayor actividad de las microalgas abastece el oxígeno requerido.

La mayor actividad de la mayoría de los microorganismos durante la estación, permite el que los nutrientes sean empleados rápidamente, con lo que aguas abajo decrece el número de bacterias saprofitas, no sólo por esta disminución en el nº de nutrientes, sino también por fenómenos de autólisis ó de depredación por Protozoos que también duran

te esta estación son más activos.

Otra característica propia del Henares en esta zona, es que a diferencia de otros ríos, no proliferan las grandes masas filamentosas, visibles a simple vista, que constituyen los mal llamados "Hongos de Albañal" (Sewage fungus), (organismos que en las depuradoras de fangos activados pueden causar el bulking; sólo los he detectado de forma escasa y de muy pequeño tamaño, a finales del otoño enredados a restos de vegetación). Esta escasísima proliferación parece sugerir que las aguas del Henares en esta zona no son lo suficientemente ricas en carbohidratos como para permitir alimentar a los microorganismos propios de la descomposición de osas y al conjunto de bacterias filamentosas y hongos que constituyen el Sewage fungus. Si esto fuera así se establecería una competencia por nutrientes que se resolvería a favor de las bacterias no filamentosas (tal vez por necesitar niveles de O.D. más bajos) salvo a finales de Otoño y principios de Invierno, cuando se incrementan algo los niveles de este gas por turbulencia (resulta significativo el haberles encontrado junto a vegetación) y la temperatura alcanza unos 10 °C, temperatura que parece según los diversos autores óptima para el desarrollo de los hongos de Albañal y que posiblemente sea ya lo suficientemente baja para reducir considerablemente el metabolismo de las bacterias no filamentosas y permitir así que el Sewage fungus pueda conseguir nutrientes. El que no se aprecien durante el invierno, pese a ser mayores los niveles de O.D. debe ser por efecto de la temperatura, pues prácticamente

a los 59C su desarrollo está ya casi inhibido. En primavera, verano y principios de otoño, aparte del incremento en el metabolismo de las bacterias degradadoras de carbohidratos, posiblemente algunas microalgas y protozoos también contribuyan a privar de sus nutrientes a estos Sewage fungus.

Como es lógico Coliformes fecales y Streptococcus dan aquí valores siempre superiores en NMP a 1.100  $\frac{100}{ml}$  y 10  $\frac{100}{ml}$  respectivamente.

Con relación a las bacterias involucradas en el ciclo del Nitrógeno, los valores encontrados para la zona en su conjunto dan valores más altos para el  $NH_3$  y para el  $NO_2$  que en las zonas antes estudiadas, mostrando como esos niveles bajan en verano, lo cual constituye un buen testimonio de la mayor eficacia de la autodepuración durante el verano y principios de otoño.

|           | $NH_3$      | $NO_2$      | $NO_3$   |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| Verano    | 0,04 - 0,11 | 0,03 - 0,10 | 2 - 8    |
| Otoño     | 0,04 - 0,26 | 0,06 - 0,10 | 9 - 24   |
| Invierno  | 0,05 - 0,2  | 0,05 - 0,17 | 2,3- 6,4 |
| Primavera | 0,04 - 0,18 | 0,04 - 0,12 | 2,4- 6   |

Los procesos anaerobios también se dan con cierta intensidad como lo testimonia el que el nº de Clostridium es siempre mayor de 10 por 25 ml. La aparición en la superficie de los sedimentos de cubiertas blancas en forma de tela de araña posiblemente testimonia la presencia de colonias de Thiothrix y Beggiatoa, (tampoco he podido comprobarlo), ca



paces de oxidar el  $H_2S$ .

D) Zona polisaprobía  
=====

Es la zona de máxima polución orgánica. Se da sólo en el Sistema entre la estación 12 y la 13. Su origen se debe a que por primera vez el Sistema tiene tal cantidad de aguas residuales vertidas, que supera el propio poder de autodepuración del río. En efecto, sin ningún tipo de tratamiento, Alcalá, una ciudad de más de 120.000 habitantes vierte sus aguas negras precisamente allí donde la velocidad de la corriente es menor, alcanzándose un nº de colonias mayor de  $10^6$  por ml.

Esto va a traducirse en dos tipos de hechos:

- 1) La gran cantidad de microorganismos procedentes de las aguas negras con sus fimbrias son capaces de unirse a los sólidos en suspensión y conectar unas partículas con otras formando agregados de materia orgánica y bacterias (Naveke, 1.970), que pesan ya demasiado para ser transportados por la débil fuerza de la corriente y sedimentan. Así en esta zona el sustrato natural va a verse modificado al quedar sepultado por una espesa capa de lodos.
- 2) La excesiva cantidad de microorganismos hace que el oxígeno disuelto llegue a desaparecer casi totalmente en la zona durante largo período de tiempo, con lo que son los procesos anaerobios los que resultan favorecidos. En el agua predominan las macromoléculas y dominan las bacterias anaerobias facultativas como Pseudomonas y las Enterobacteria-ceas.

A simple vista, puede apreciarse, por sus caracteres organolépticos, en algunas partes de este tramo, la producción de burbujas de  $\text{SH}_2$ , capaces incluso de hacer ascender hasta la superficie trozos del fondo que contribuyen aún más a degradar la calidad estética del agua. Estos desprendimientos son particularmente llamativos a finales de verano los días en que disminuye la presión atmosférica.

La intensidad de este proceso sugiere que la mayoría del  $\text{SH}_2$  producido provenga de la reducción anaerobia de los sulfatos, ya que la producción de  $\text{SH}_2$  a partir de las proteínas es siempre muy pequeña. Las condiciones desde luego no pueden ser más favorables para este proceso; no existe O.O. y sí abundante materia orgánica capaz de abastecer el Hidrógeno para la reducción, de tal modo que no resulta descabellado el sugerir que posiblemente el Desulphovibrio desulphuricans (tal vez asociado a Clostridiums, estos sí titulados y a algunas especies de Pseudomonas) esté fuertemente involucrado en este proceso. Por otra parte, en las zonas de este tramo en las que se producen más intensamente la reducción de los sulfatos, deben producirse importantes variaciones en las poblaciones de microorganismos, pues parece que el  $\text{H}_2\text{S}$  actúa como un veneno respiratorio para apresar el Fe de la citocromooxidasa, por lo que resultarían favorecidos aquellos microorganismos que utilicen  $\text{H}_2\text{S}$  como fuente de energía (bacterias quimioautotróficas sulfúricas) ó aquellas que utilizan el Hidrógeno como dador (Clorobacterias y bacterias púrpuras del azufre).

Con relación a otros procesos anaeróbicos, tal vez tenga al

guna importancia en Octubre y Noviembre la descomposición anaeróbica de celulosa, inducida por Pseudomonas methanica y Noocardiae aunque no he podido titular el metano.

Con relación al ciclo del Nitrógeno, están favorecidos los procesos de desnitrificación, que utilizan como sustrato Nitratos y Nitritos como aceptores de hidrógeno. Los datos encontrados naturalmente dan los valores más altos en  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_2$  de todo el sistema.

|           | $\text{NH}_3$ | $\text{NO}_2$ | $\text{NO}_3$ |
|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Verano    | 0,21          | 0,13          | 8,8           |
| Otoño     | 0,3           | 0,12          | 12,8          |
| Invierno  | 0,35          | 0,09          | 6,2           |
| Primavera | 0,28          | 0,09          | 6,1           |

Por si esto fuera poco, cuando el Henares aún no ha podido comenzar su autodepuración, una serie de vertidos industriales, muchos de ellos con productos tóxicos, impiden el que las bacterias autotróficas puedan ocupar su espacio a medida que las condiciones mejoren, cerrándose el panorama con un efluente antibiótico procedente de los laboratorios Lepetit que supone la última agresión a un Sistema que ya está moribundo. También aquí en el diseño estaba previsto ver la evolución de Noocardia que según la bibliografía de bía ser el género favorecido por este último vertido.

# Bibliografia

- Alexander, M (1.971)  
Microbial Ecology. Ed. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Brock, T.D. (1.966)  
Principles of microbial ecology. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs N. Jersey, USA.
- Dart, R. K. (1.977)  
Microbiological aspects of pollution control. Ed. Elsevier.
- Hawkes, H.A. (1.963)  
The ecology of waste water treatment. Ed. Pergamon Press.
- Marshall, K.C. (1.976)  
Interfaces in microbial ecology. Harvard University Press.
- Rheinheimer, G. (1.971)  
Aquatic Microbiology. Ed. John Wiley and Sons. London
- Sikes, G (1.971)  
Microbial aspects of pollution. Society for applied Bacteriology. Symposium series nº 1. Academic Press London.
- Standard Methods (1.975)  
14 ed. APHA
- Taylor, C.B. (1.942)  
Bacteriology of freshwater. III Hygiene 42

### III. El ecosistema Sorbe-Henares

#### 3.a. Consideraciones generales

#### 3.b. El caudal y sus variaciones como marco condicionante para la vida en el ecosistema Sorbe-Henares

#### 3.c. Sinecología del Sistema Sorbe-Henares.

##### 3.c.1. La fuente principal de Energía

##### 3.c.2. Subsistemas y estabilidad

##### 3.c.3. Producción en el Sistema Sorbe-Henares.

##### 3.c.4. Diversidad y contaminación en el sistema Sorbe Henares

##### 3.c.5. El ecosistema en el espacio: Sucesiones y contaminación.

##### 3.c.6. Dinámica del ecosistema.

##### 3.c.7. Conclusiones

## EL ECOSISTEMA SORBE-HENARES

### A) Consideraciones generales.-

Una vez realizados los estudios de autoecología, tenemos ya una idea bastante clara de lo complejo que es el funcionamiento del sistema y de los cambios de todo tipo que en él acaecen fenológicamente. Todo ello podría inducirnos a pensar superficialmente que el ecosistema del Sorbe y del Henares, sometido al capricho de tantas y tan poderosas variables, estaría condenado a una inmadurez constante y por lo tanto nunca podría alcanzar una clímax. Sin embargo, y si prescindimos por el momento de aquellos tramos que resultan claramente afectados por la contaminación antropógena, año tras año se repiten los mismos ciclos, las especies que desaparecen dejan su lugar a otras que parecen cumplir la misma función, y aunque se den importantísimas fluctuaciones dentro de las mismas especies, incluso de un año a otro y sin ninguna catástrofe aparente de por medio, el Sistema en su conjunto parece inafectado. (Aunque aquí el tiempo de estudio ha sido de sólo dos años, en otros sistemas fluviales que han sido estudiados durante períodos de tiempo más largos, 10 y 15 años, ocurre esto y por ello extrapolo). Todo ello lleva a que antes de entrar de lleno en el estudio del ecosistema como tal, deba hacer unas reflexiones o consideraciones teóricas que sirvan de guías para la correcta interpretación de todos los datos obtenidos y evitar así el que los estudios autoecológicos nos deslumbren en demasía y constituyan un obstáculo para la compren-

sión del ecosistema en su conjunto.

Lo primero que hay que resaltar es que como ya vimos en la Paleogeografía y Paleohidrología el Sistema está prácticamente formado así desde el Plioceno, esto quiere decir que estamos en presencia de un ecosistema muy "viejo" en el tiempo, y que pese a los cambios que ha podido sufrir (p. ej. desplazamientos hacia la izquierda) no ha desaparecido (como ocurre con los lagos y fuentes que se aterran en relativo corto espacio de tiempo), lo cual significa que el Sistema no ha constituido nunca una trampa evolutiva y que sus aguas han podido producir cambios evolutivos y diversidad. Así se explica p. ej. la presencia de Blepharocéridos, Símúlidos o Tricópteros que están únicamente confinados en aguas corrientes.

Por otra parte, si comparamos el Sorbe-Henares con otros ríos del mundo, vemos que todos ellos en lo esencial tienen características muy similares, tanto es así que numerosos ecólogos han llegado a afirmar, que los ríos constituyen auténticas clímax (en el sentido de que no pueden llegar más allá de cierta etapa) pues la madurez no puede aumentar a partir de un tope ya que el exceso de producción del Sistema va a parar fuera del mismo y no puede invertirse o capitalizarse en su seno. Sin embargo, R. Margalef va mucho más lejos y si bien reconoce que el flujo de agua es un importante factor de inmadurez, destaca textualmente que "los ríos evolucionan hacia un perfil de equilibrio, aumentando la longitud de su curso con la formación de mean

dros, que se cortan y dan lagunas que vuelven a ser tomadas por los ríos en las crecidas, siendo el resultado el que el río con sus aguas periféricas representa un ecosistema muy complejo que favorece la evolución". Así "el ecosistema representado por un río y sus aguas periféricas se PUEDE CONSIDERAR COMO UNA CLIMAX EQUIVALENTE A LAS CLIMAX FORESTALES", siendo una característica de todas las climas la considerable diversificación local". La climax pues, no tiene porqué ser un ecosistema uniforme.

Por otra parte, en todos los ríos, y el Sorbe y el Henares no son excepción, no es válido el clásico modelo "Luz→Productores→Consumidores" típico de otros ecosistemas de agua dulce, dependiendo energéticamente mucho más del modelo de la materia alóctona que cae al río que de la luz, aunque ésta juega un papel importante. Además no existen verdaderos ciclos de la materia, pues todo es impulsado corriente abajo con lo que nada puede reciclarse in situ. Todo ello si bien va a condicionar el que exista una estrecha relación entre la riqueza del río y la de su entorno, no va a constituir ningún obstáculo para que el ecosistema se establezca en la forma en que mejor pueda aprovechar la energía que recibe. Así pues, la materia alóctona, cualquiera que sea su origen, la luz, las sales provenientes de la disolución de las litofacies e inclusive los vertidos contaminantes van a constituir las grandes fuentes energéticas y materiales que van a diseñar potencialmente las redes tróficas que constituyen la arquitectura del ecosistema, actuando el flujo y sus variaciones como modulador importante con peso pro



pío que hace real una parte de lo que es posible.

Apreciando las cosas de este modo, considerando el ecosistema como un todo y además como un clímax, la interpretación que puede darse a los datos obtenidos varía totalmente y aquellos cambios de todo tipo que parecían poco menos que catastróficos en el fondo deben ser considerados como mecanismos que sirven de ajustes para mantener la estabilidad esencial del equilibrio dinámico que caracteriza a este tipo de ecosistemas. (en el sentido de la mejor forma posible de aprovechamiento de la energía recibida). Esta idea que parece desprenderse de toda una serie de hechos patentizados por el estudio autoecológico, nos va a hacer concebir a la contaminación más que como una variable que influye de tal o cual modo a la vida en un tramo dado, como un importante factor de regresión del ecosistema acuático, que va a romper en primer lugar los mecanismos de regulación de la estabilidad relativa posible en cada tramo y posteriormente rotos éstos, destruir la propia estabilidad, haciendo retroceder hacia etapas más simples y primitivas partes enteras del ecosistema.

Vistas las cosas así, el abordaje del estudio del ecosistema como un todo no uniforme, ofrece una amplia gama de nuevas posibilidades hasta ahora relativamente poco contempladas que merecen la pena ser exploradas.

B) El caudal y sus variaciones como marco condicionante para la vida en el ecosistema Sorbe-Henares.-

En el apartado de Geografía física analicé el tipo de crecidas que tienen lugar en el Sistema, y aunque estas no tengan, por lo general, más que el carácter de simples avenidas, son por ende capaces de afectar al ecosistema en su conjunto, pues no todos los seres pueden resistir fuertes variaciones en el nivel del agua. Estas variaciones son responsables de que existan unas especies y no otras y de que por lo tanto la "vida" como parte integrante del ecosistema necesite acomodar su estrategia a estos inconvenientes ambientales.

1. Las crecidas y su influencia en el ecosistema

El sistema Sorbe-Henares, como ya se estudió, está sujeto a importantes avenidas, que pese a su carácter excepcional, ejercen un importante impacto sobre la biota existente. Estas son tanto más importantes no sólo en relación con la pluviosidad, sino también con la escasa cubierta vegetal y la fuerte pendiente de las laderas, fundamentalmente las de la margen izquierda (recordemos el valle asimétrico dibujado por el Henares). La desforestación impide a los suelos retener el agua caída y ésta es arrastrada ladera abajo siguiendo la zona de máxima pendiente hasta alcanzar el río. Esta elevación en la cantidad de agua que lleva el río ejerce una considerable influencia sobre todo un conjunto de factores que modifican los hábitats e influyen directamen-

te sobre la vida.

En general podemos afirmar que el incremento del caudal trae consigo una reducción de la fauna de invertebrados (para peces y macrófitas ya lo estudiamos) los cuales se ven arrastrados aguas abajo. En mi experiencia, aparte de las dificultades de muestreo, he podido comprobar como las crecidas son capaces de alterar el lecho del río, llegando a arrastrar hasta sedimentos de grava grande y anegando la vida que sobre ellos se sustenta. También la fauna asociada a las infectantes acuáticas de orilla, al ocurrir la crecida, pasan de estar en un tramo lenítico a encontrarse en un tramo lótico, incrementándose a la "fuerza" el drift y disminuyendo el índice de supervivencia de las especies derivadas.

La reducción de la fauna no es desde luego uniforme y varía en función de la nueva fuerza de la corriente y de las oportunidades que tienen los seres vivos para encontrar barreras de supervivencia. En general, lo primero que sufre los efectos de las crecidas es la parte central del cauce y después las orillas que por efecto de la inundación pasan hacia el centro de la corriente.

Las posibilidades de supervivencia están relacionadas con la estabilidad del sustrato y así en los lechos donde predominan arena ó limo están favorecidos los animales de madriguera tales como los Tubífidos, Chironomidae y pequeños bivalvos tipo Disidium, y en general también predominan las formas pequeñas sobre las de mayor tamaño. En los lechos donde predominan piedras grandes, los efectos de las

crecidas parecen menores. Así pues, durante las crecidas el sistema resulta bastante afectado a partir del sedimento cuya granulometría es de grava (aguas abajo de Muriel, estación nº 3), incrementándose el daño hasta la represa de la Oruga (estación nº 9) que en cierta medida actúa como regulador del caudal aguas abajo. Estas crecidas aparte de su efecto de "limpiar" la fauna béntica, al incrementar la deriva permite que ciertas especies atraviesen esporádicamente las barreras generadas por los vertidos contaminantes y puedan resistir ó bien acantonadas en hábitats bastante especiales en aguas abajo ó sólo aguantar estacionalmente hasta que vuelve a bajar el caudal y los efectos de la contaminación vuelven a ser limitantes para su vida. El fenómeno es importante pues las crecidas en realidad actúan como "abridoras de fronteras", conduciendo bien a través del drift, o bien posibilitando por una mayor dilución de los contaminantes, el que puedan mezclarse faunas que durante todo el resto del año permanecen aisladas por la auténtica muralla que constituyen los vertidos contaminantes. (Este fenómeno es particularmente importante a la altura de Guadalajara). En cuanto a la recolonización por drift aguas abajo, ésta en general, es poco exitosa pues los nuevos ambientes que encuentra la fauna derivante por acción fundamentalmente de los contaminantes, son poco propicios para que puedan asentar de forma estable sus comunidades.

Aparte de este proceso de tránsito (en las dos direcciones) que tiene su importancia, el carácter bastante irregular de las crecidas, no permite a los seres bénticos tener re-

gulado su ciclo vital, de tal modo que éstas les perjudiquen lo menos posible, con lo que no se exhiben toda una gama muy variada de adaptaciones (acortamiento ó retraso del ciclo metamórfico, de tal modo que la especie no sea "arrastrada" en un momento crítico, incrementando su tasa de reproducción, etc...), con lo cual la avenida "al coger por sorpresa" a los macroinvertebrados, tiene los caracteres de una auténtica catástrofe, con lo que eso implica para el ecosistema.

Otro factor muy importante relacionado con las crecidas, es el incremento del "Run-off" (la escorrentía) y por lo tanto el gran aumento de sólidos en suspensión, cuya acción abrasiva y turbidinógena ayuda aún más a reducir la abundancia y la diversidad de flora y fauna. (Este aspecto fue tratado en la parte autoecológica).

#### Los estiajes y su influencia en el ecosistema

En la parte correspondiente a la Geografía física analicé como por el Bajo Henares los estiajes, con ausencia total de aguas, a diferencia de las crecidas, tenían un carácter regular, repitiéndose con relativa frecuencia siguiendo la ley del decrecimiento exponencial. Esto va a traducirse en una presión ambiental sobre la vida mucho más fuerte que una simple catástrofe, que en más o menos tiempo puede ser reparada (p. ej.: incrementando la tasa de reproducción de los animales supervivientes etc...). La presión ambiental regular impone unas condiciones de vida y de esta forma, va a actuar como seleccionador de fau

na en un doble sentido: por un lado va a favorecer aquellas especies características de hábitats hiporreicos, capaces de sobrevivir sólo con humedad, es decir Planarias, Oligoquetos, Copépodos, Elmintidae, Chironómidos e Hydracarina (Un ejemplo llamativo de esta selección tal vez lo constituye la presencia en el Sistema de Dina lineata, que en teoría, según el principio de exclusión por el nicho, debería haber desaparecido, pues es muy fuerte la competencia que sufre con otros hirudíneos, pero a la que su facultad de soportar sequías regulares la posibilita medrar mejor que a sus competidores cuando sobrevienen los estiajes). La 2ª forma de selección va a consistir en la desaparición en general de las especies que están en un período activo durante el tiempo de sequía, con lo cual las especies Univoltinas cuyo período de desarrollo coincide con el estiaje forzosamente mueren si no son capaces de adaptarse. Estas adaptaciones consisten generalmente en acelerar su ciclo vital, de tal forma que lo que era emergencia tardía, se adelante al período de sequía, de tal modo que la especie pueda resistir la sequía en estadio de huevo, que constituye una auténtica forma de resistencia frente a esta adversidad. Otra forma consiste en todo lo contrario, es decir retrasar el ciclo en aquellas especies que tienen ninfas capaces de estivar.

Si a este carácter ya dramático de por sí que tienen los estiajes en el Bajo Henares le añadimos el efecto de la contaminación, particularmente más grave en la época de mínimo caudal, tenemos ya dibujado el marco que nos ex-

plica el 90% de la fauna que encontramos en el Bajo Henares, que aparte de seres resistentes a la contaminación (como vimos en la autoecología) son seres capaces de soportar las durísimas condiciones ambientales del verano, bien sobreviviendo en charcas en las cuales el O.D. es muy bajo y la temperatura muy alta (Planaria, Crustáceos, Tricópteros como Limnephilus, Caracoles), bien en madrigueras (Planarias, Nematodos, Oligoquetos, Anfípodos, Isópodos, Elmis, Chironomus, caracoles, arañas..) bien sobreviviendo en seco como huevos o como cualquier otra forma de resistencia (Limnea, Limnephilus ...).

El otro resto de fauna tiene otras dos fuentes de procedencia, una de ellas es el drift recolonizador, que salvo en el caso de los Baetis resulta siempre fracasado y la otra la constituye la represa de la Oruga, capaz en cierta medida de actuar como modulador del caudal e influenciar al tramo del río sito inmediatamente aguas abajo, con lo que la parte del cauce de la que es bastante representativa la estación nº 10 puede albergar una parte de fauna diferente a la encontrada en otros tramos.

c) Sinecología del Sistema Sorbe-Menares.-

. La fuente principal de energía

Si prescindimos de las regresiones generadas por la contaminación, que serán analizadas en el capítulo posterior, desde el punto de vista de la entrada de energía podemos distinguir dos subecosistemas totalmente diferentes a lo largo del Sorbe-Menares. Aunque la frontera entre ellos no aparece neta y está posiblemente enmascarada por los efectos de la contaminación, los caracteres distintivos entre uno y otro aparecen lo suficientemente claros como para dar una idea precisa de que nos hallamos ante dos organizaciones diferentes. Ambas coinciden bien "a grosso modo" con los modelos de Rhithron y Potamon debidos a Illies y es mi intención aquí abordar su estudio comparativo no sólo para resaltar las diferencias que se aprecian en su diseño, sino también para poder precisar el tipo de relaciones que entre ellos existen. Si un poco arbitrariamente, pues la frontera es asimétrica, definimos aguas abajo de la estación 7 como el límite entre ellos, podemos distinguir:

A) La zona delimitada desde el nacimiento del Sorbe hasta la estación nº 7, en la cual la principal fuente de energía que recibe el Sistema proviene fundamentalmente de la materia orgánica alóctona que cae al río, como lo testimonian los macroinvertebrados capturados entre los que predominan los detritívoros, lo que evidencia que este material alóctono es el formador de una gran parte de la



base de las cadenas tróficas. En este sentido existe una estrecha relación entre las características del ecosistema terrestre que bordea cada tramo del río y la riqueza encontrada en las aguas.

B) La zona comprendida desde aguas abajo de la estación nº 7 hasta el final, en la cual si bien continúa teniendo cierta importancia la materia alóctona que cae al río, la mayor anchura del cauce, hace que la cantidad de esta materia sea mucho menor por unidad de superficie, con lo cual la principal fuente de energía va a estar sustituida por el detritos fino que proviene de la zona de aguas arriba.

De esta primera información ya podemos entresacar dos ideas importantes:

1º) Que los dos subecosistemas como un todo constituyen un ecosistema abierto, importando energía de los ecosistemas terrestres que los circundan y exportándola siempre aguas abajo, siendo mayor y más significativa la importación aguas arriba. En este sentido el ecosistema Sorbe-Henares está más referido a un proceso que a un estado u organización, en el cual todos los elementos están abiertos, existiendo flujos e intercambios a través de todas las superficies fronterizas.

2º) El subecosistema de aguas abajo explota al de aguas arriba y si tenemos en cuenta el principio ecológico que los ecosistemas maduros explotan a los ecosistemas inmaduros, el subecosistema de aguas abajo debe ser más "ma-

duro" que el de aguas arriba.

Esta 2ª idea tiene importancia puesto que nos conduce a pensar que entre los dos subecosistemas tiene que existir un distinto grado de organización, de tal modo que durante el intercambio de energía el subecosistema menos organizado da energía al más organizado y en el proceso de intercambio la destrucción de información en el menos organizado va a ganarse en el más organizado, de tal forma que este último subecosistema va a sufrir cambios más predecibles a través del tiempo, almacenando mejor la información y constituyendo un canal de información más eficiente.

Así pues, mientras en el Rhithron (denominación que aplico al subecosistema de aguas arriba) el flujo de energía es mayor, el Potamon (denominación que aplico al subecosistema de aguas abajo) se alimenta de este superávit de energía y se enriquece aún más con el intercambio. De esta forma, el exceso de producción que el rhithron podía utilizar para aumentar su propia madurez se va transfiriendo al potamon, quedando de este modo mantenido en un estado estacionario de baja madurez por la explotación a la que se encuentra sometido.

#### . Subsistemas y Estabilidad.

Ambos subecosistemas presentan diferencias básicas también en cuanto a sus subunidades y aunque el ecosistema en su conjunto deba ser entendido como la interacción entre 2 subsistemas, uno suspendido en el agua y otro ligado al

fondo, en el rhithron como ya analicé en el apartado correspondiente, no existe verdadero plancton, estando formado el subsistema vivo en suspensión fundamentalmente por microalgas bénticas arrancadas de su sustrato y fauna derivada que naturalmente no parece capaz de multiplicarse mientras es trasladada, con lo que la distribución longitudinal observada tiene más que ver con las sucesiones bentónicas y la capacidad de navegar de cada ser derivado que con auténticas sucesiones planctónicas. En el potamon, por el contrario y salvo en invierno, la caída de velocidad de la corriente sí permite la existencia de verdadero plancton, que aprovechando el carácter turbulento del flujo, es capaz de multiplicarse, manteniéndose en cada punto geográfico fijo una población en la que la multiplicación compensa las pérdidas por arrastre, difusión y sedimentación. Las variaciones de las diversas condiciones ambientales a las que está sometido cada uno de estos puntos geográficos (aceleraciones, deceleraciones, luz, nutrientes etc.=) posibilitan la existencia de cambios en las poblaciones planctónicas que pueden describirse como auténticas etapas de madurez.

Aunque siempre a lo largo del sistema Sorbe-Henares el subsistema en suspensión esté explotado por el subsistema de fondo, la explotación del Rhithron por el Potamon así como la existencia de verdadero plancton en este último, da pie para la existencia de cadenas tróficas más largas, con lo que por un lado disminuye el flujo de energía por unidad de biomasa (pues una fracción de la e-

nergía pasa a través de diversos eslabones) y por el otro la energía es utilizada más eficientemente, al mismo tiempo que se asegura su mayor flujo neto hacia el bentos, permitiéndole así un mayor control que se traduce en un mejor almacenamiento de la información, así como la constitución de un canal de información más eficiente. Este acúmulo de información va a posibilitar que el bentos del ecosistema potamon pueda adquirir una organización nueva que es capaz en cierta medida de "aprender" las variaciones ambientales, de manera que antes de que tenga lugar el cambio, el ecosistema esté preparado para él. Ello se va a traducir en que el subecosistema potamon va a ser mucho más estable que el subecosistema rhithron.

Esta mayor estabilidad en el potamon, debida en gran parte a estar mucho menos sujeta que el rhithron a los cambios estacionales en la fuente de energía, va a tener importantes consecuencias a la hora de la selección de especies, influyendo directamente sobre parámetros tales como la duración de la vida y tasa de reproducción. Por ello resulta muy útil comparar las diferencias existentes con relación a sus curvas de supervivencia y fecundidad entre las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos pertenecientes a Rhithron y Potamon.

#### Duración de la vida.-

La inmensa mayoría de los macroinvertebrados bentónicos que habitan en el rhithron tienen un período de vida anual constituyendo generalmente ciclos de vida univoltinos,

(Habroleptoides, Ecdyonurus, Rhithrogena, Heptagenia, Oligoneurella, Ephemerella, la mayoría de los Tricópteros) dándose incluso numerosas especies polivoltinas de menor duración de vida (Baetis, Simulium, Hydropsyche, Cheumatopsyche, Gammarus pulex)(sólo unos pocos, p. ej. Perla que vive los tres años y Potamobius tienen una vida más larga). Pasando incluso parte de su vida en estado de latencia (diapausas, estiajes ...)

Sin embargo, la mayoría de las poblaciones del potamon están compuestas por gusanos (Limnodrilus vive más de año y medio), caracoles (Bithynia vive más de dos años), Bivalvos (Unio vive hasta 13 años), Sanguijuelas (Erpobdella vive más de dos años) y Odonatos (Agrion tarda más de un año en alcanzar su desarrollo).

En general, las especies del potamon presentan un tamaño mayor, un metabolismo más bajo, una alimentación algo más selectiva y el desarrollo de mecanismos defensivos, factores que sin duda alguna contribuyen a la disminución de la tasa de mortalidad y al aumento de la duración de la vida.

Una excepción llamativa tal vez sea la que constituye Baetis rhodani, la cual al poder dar más de una generación al año, ha permitido que generaciones sucesivas puedan vivir bajo condiciones diferentes, con lo que la especie ha adquirido una cierta ciclomorfosis (plasticidad fisiológica) que le permite adaptarse a una amplia gama de condiciones que le posibilita vivir tanto en Rhithron como en Potamon.

Atendiendo a su tasa de reproducción, como ya analicé en el capítulo de autoecología, las especies propias del rhithron en general son mucho más prolíficas, a diferencia de las del Potamon, en donde se suele dar una restricción del número de descendientes debido a la mayor constancia relativa en el número de sus individuos.

Una buena medida correlacionada con esta tasa de reproducción puede ser la medida de la dispersión de la especie, teniendo presente que las especies que se dispersan fácilmente pueden mantener un flujo genético intenso entre poblaciones distantes. La simple comparación de los coeficientes de drift entre macroinvertebrados del Rhithron y del Potamon resulta ampliamente indicativa; así, utilizando el esquema de Bailey (1.966) (el nº en 2º lugar da idea de la relación con la fauna béntica)

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Limnea spp.....               | 0,12/0,08 |
| Hirudínea, Enchytraeidae..... | 0,69/1,19 |
| Efemerópteros (no Baetis).... | 0,90/4,98 |
| Hydropsyche.....              | 1,51/3,43 |

En general destaca el bajísimo coeficiente de drift de moluscos, hirudíneos y anélidos que constituyen la principal biomasa del Potamon en comparación con los más altos de Simúlidos, Efemerópteros etc, que constituyen la principal biomasa del Rhithron.

(El bajo coeficiente de drift de las especies del potamon nos plantea otra idea interesante y es que realmente el Potamon "exporta" muy poca biomasa viva al Estuario, con

lo cual parece que la información "perdida" en este proceso, es menor que la "ganada" en su transcurso.)

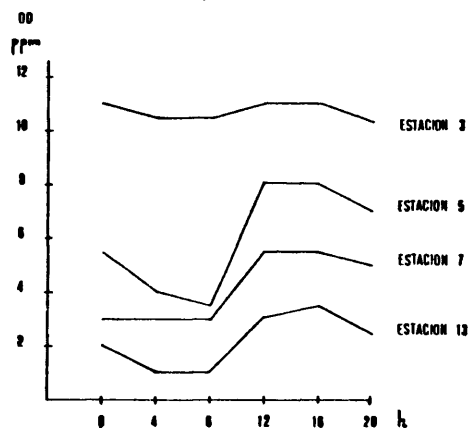
#### . Producción en el Sistema Sorbe-Henares

##### A) Producción primaria.-

Una estimación de la producción primaria puede hacerse estudiando las variaciones de los niveles de oxígeno disuelto, ya que estas vienen determinadas por la ecuación:

$$\Delta O.D. = P - R + D + A$$

(P = Producción primaria, R = respiración, D = difusión con la atmósfera, A = coeficiente de reaeración por flujo). Si realizamos una gráfica de estos valores en las estaciones 3, 5, 7 y 13 durante el Otoño (podría si es que cabe hablarse de una situación media, ya que las  $\Delta O.D.$  son máximas en verano y mínimas en invierno)



A grosso modo, suponiendo  $R = cte$ , y fácil de determinar en el periodo en el cual no hay luz y por lo tanto no hay fotosíntesis, es fácil determinar P, calculando el

O producido por fotosíntesis, ya que la cantidad de  $\text{CO}_2$  absorbida en la asimilación del Carbono es proporcional a la cantidad de oxígeno liberado, por lo que la cantidad de carbono asimilado se puede calcular de la cantidad de  $\text{O}_2$  liberado, expresándolo en peso de carbono fijado por unidad de superficie. Para ello naturalmente es previo el cálculo de D y A, el cual puede hacerse fácilmente con una variante del Modelo de Streeter que nos permite calcular la reaireación del río, sin tener en cuenta la P y la R debidos a los seres vivos, así se define un coeficiente  $K_2$  global de transfert, que es función entre otras cosas de la velocidad media del flujo y de la profundidad media

$$K_2 = \frac{(D_m V)^{1/2}}{2,303 H^{3/2}}$$

con el que puede calcularse la ley de reaireación:

$$D_t = D_o e^{-K_2 t}$$

Donde  $D_m$  = coeficiente de difusión molecular del  $\text{O}_2$  en el  $\text{H}_2\text{O}$  por  $\text{m}^2$  y día.

V = velocidad media  $\text{m}^2/\text{día}$

H = profundidad media.

Con esta ecuación, podemos calcular los niveles de O.D. que debe llevar el Sistema en cada estación debidos únicamente al  $\text{O}_2$  atrapado por turbulencia. Los valores medios obtenidos para cada una de las 4 estaciones arrojan los siguientes resultados:



|                | Niveles medios de OD por reaereación |
|----------------|--------------------------------------|
| Estación nº 3  | 8,5 ppm                              |
| Estación nº 5  | 6,2 ppm                              |
| Estación nº 7  | 5,9 ppm                              |
| Estación nº 13 | 4,1 ppm                              |

Prescindiendo de los datos cuantitativos tanto de P, como de R y  $K_2$  por ser enormemente variables fenológicamente, lo que sí resulta indicativo por ser constante en el tiempo, es que (salvo en las estaciones nº 2 y 3 en las que los niveles de O.D. permanecen siempre muy altos debido a la turbulencia y por lo tanto difícil de valorar significativamente P y R) en TODAS LAS ESTACIONES DEL SISTEMA LA RESPIRACION ES SIEMPRE MAYOR QUE LA FOTOSINTESIS, existiendo una correlación directa con la  $DBO_5$ , lo cual vuelve a testimoniar que no es la luz, sino la materia orgánica alóctona la principal fuente de energía del ecosistema Sorbe-Henares, con lo que se confirma que la producción primaria sólo abastece una pequeña proporción de la energía utilizada por el ecosistema, hecho ya indicado por los macroinvertebrados capturados.

Si lo que intentamos es comparar ahora el papel que juegan las distintas comunidades de microalgas bénticas en el sistema, podemos utilizar el análisis de pigmentos vegetales como una estima indirecta de la producción y de la biomasa.

Una visión orientativa (sólo orientativa) de la Producción y de la Biomasa en función de la cualidad de los pigmen-

tos es la utilizada por Margalef (1.965) en algunos lagos de agua dulce. Aplicando sus fórmulas:

$$P = C (D_{665})^{1,3} / (D_{430})^{0,6}$$

$$B = C (D_{430})^3 / (D_{665})^2$$

a finales de verano, algunas estaciones del Sorbe-Henares dan los siguientes valores:

| Estación | P       | B       |
|----------|---------|---------|
| 5        | 0,454 C | 9,032 C |
| 7        | 0,245 C | 3,679 C |
| 8        | 0,284 C | 2,729 C |

Estos datos parecen indicarnos que hay un fuerte descenso de la productividad en aquellas estaciones afectadas por la contaminación compleja de Guadalajara y sus polígonos industriales (lo cual puede estar de acuerdo con el aumento de turbidez de las aguas que afecta a la fotosíntesis) y de la biomasa, que alcanza valores cada vez más bajos.

Consecuentemente con esto el cociente P/B arroja valores de:

| Estación | P/B   |
|----------|-------|
| 5        | 0,05  |
| 7        | 0,066 |
| 8        | 0,10  |

Lo cual parece indicarnos que el sistema de algas bentónicas de la estación nº 5 que aún no ha sufrido un fuerte impacto contaminante es más maduro que el de las estaciones 7 y 8 en las que la contaminación parece haber regre-

sionado a este subsistema, especialmente en la estación nº 8 en la cual se dan los niveles más elevados de Organoclorados (Aldrin y Dieldrin, fundamentalmente.)

#### B) Producción Secundaria.-

A la hora de estudiar la producción secundaria del ecosistema Sorbe-Henares es fácil comprender que al contemplar el ecosistema como un todo es imposible distinguir entre consumidores primarios, secundarios y diversívoros. Su estudio necesariamente sólo puede acometerse o bien estudiando directamente a los mismos invertebrados ó bien como se realiza más frecuentemente, a través del "Back calculation" que hace referencia a la cantidad de comida que tiene que existir para que tenga lugar la producción encontrada en los peces que se alimentan de invertebrados.

Naturalmente ambos métodos son totalmente imprecisos y sólo tienen un valor orientativo, así nada tiene de extraño que por ejemplo distintos investigadores que estudian un mismo lugar (casi siempre un sitio pequeño) no lleguen nunca a un acuerdo a la hora de emitir sus resultados a través de los métodos de estimación relativa directa de los propios invertebrados, o que los investigadores que utilizan el "back calculation" topen siempre con la paradoja de Allen, según la cual la biomasa necesaria para mantener la productividad de las especies de peces estudiadas resulta siempre muchísimo mayor que la encontrada en la realidad. Todo esto no es de extrañar, pues debido a la ya mencionada ineficacia de los métodos de muestreo

cuantitativo de los macroinvertebrados, los ratios de Producción/Biomasa resultan demasiado altos comparados con lo que deben ser en la realidad.

Como lo que se trata es de reflejar realidades y no dar números sin un significado real, la forma en que pienso abordar el problema de la producción secundaria es por una parte utilizando el Back calculation y por otra parte intentar dar sugerencias basadas sobre coeficientes de producción específica obtenidas en condiciones standarizadas de laboratorio para unas pocas especies.

a) Productividad piscícola en el Sistema Sorbe-Henares.-

Los ecólogos definen la producción piscícola como la cantidad de pescado producida en unidad de tiempo, expresada en unidad de peso por unidad de superficie o longitud. La productividad sin embargo, se refiere a la posibilidad de producción. Así pues hablando en términos económicos la producción es el capital como la productividad es a su interés.

El método más moderno para calcular la productividad es el diseñado en 1.970 por Leger, Huet y Arrignon, los cuales basados en su experiencia de muchos años, establecieron una ecuación empírica según la cual, la Productividad (teórica) era proporcional a L, la anchura del curso de agua, a B, la capacidad biogénica del cauce considerado y a un coeficiente de productividad (K), que a su vez era resultante de las características físicas:  $K_1$  (temperatura media anual), químicas  $K_2$  (acidez o alcalinidad), de

los tipos de peces existentes,  $K_3$  (Salmónidos o Ciprínidos), de la edad de los peces,  $K_4$  (mayores ó menores de 6 meses) y de las características del impluvium,  $K_5$  (urbano, pastizal, herbazal, teniendo en cuenta la forma de la V producida por el valle). Así la productividad piscícola viene definida por:

$$P_i = K \cdot B \cdot L$$

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$$

(oscilando  $K_1$  entre 1 y 4;  $K_2$  entre 1 y 1,5;  $K_3$  entre 1 y 2;  $K_4$  entre 1 y 1,5;  $K_5$  de 0,2 a 1,8)

Aplicando estos datos al sistema Sorbe-Henares encontramos: (Ver Tabla )

. Si tenemos en cuenta que los peces estudiados constituyen el eslabón final de las redes tróficas, es lícito pensar que la productividad secundaria debida a los macroinvertebrados bentónicos debe variar proporcionalmente a como varía la de los peces, pues ésta en el fondo es un producto de aquella. A la vista de los datos se aprecia un incremento de la productividad secundaria aguas abajo, salvo en aquellos puntos en donde la contaminación compleja ha afectado fuertemente al ecosistema, originando una clara regresión. Llama también la atención el que los máximos de productividad se den precisamente en las zonas donde alcanzan sus máximos las microalgas (recordemos la eutrofización puntual de verano en las estaciones 5 y 6 y la existencia de una represa en la estación 9 que favorece la proliferación del plancton y su influencia hasta la estación nº 10)

|                             | 1     | 2     | 3y4     | 5y6    | 7y8 | 9y10   | 11,12 y13 |
|-----------------------------|-------|-------|---------|--------|-----|--------|-----------|
| K <sub>1</sub>              | 1     | 1     | 1,5     | 2      | 2   | 2      | 2         |
| K <sub>2</sub>              | 1,2   | 1     | 1,2     | 1,5    | 1,5 | 1,5    | 1,5       |
| K <sub>3</sub>              | 1     | 1     | 1,2     | 1,5    | 2   | 2      | 2         |
| K <sub>4</sub>              | 1     | 1,2   | 1,2     | 1,1    | 1   | 1      | 1         |
| K <sub>5</sub>              | 1,1   | 1,2   | 1,2     | 1,3    | 1,4 | 1,4    | 1,4       |
| L <sub>m</sub>              | 2     | 3     | 10      | 20     | 25  | 28     | 30        |
| B                           | 4     | 4     | 9       | 9      | 3   | 6      | 0         |
| P en<br>kg/ha <sub>ko</sub> | 10,56 | 17,28 | 279,936 | 1158,3 | 630 | 1411,2 | 0         |

Otro hecho llamativo es la escasa productividad de las aguas ácidas (estación nº 2) comparada con la de las aguas alcalinas, pudiendose correlacionar tal vez este fenómeno con las observaciones de Schlieper (1.952) quien demostró que el Calcio y el Magnesio acrecentaban la velocidad respiratoria de la trucha arco-iris a bajas temperaturas y la retrasaban a altas, esto significaría que los peces de aguas alcalinas comerían mucho más activamente durante el invierno y utilizarían mucha menos energía durante el verano, lo que les haría estar más capacitados para poder crecer.

Tal vez sea interesante añadir que los valores encontrados para la productividad piscícola en las diversas estaciones se correlacionan bien a "grosso modo" con los que cabría esperar si hubieramos hecho corresponder cada uno de los tramos del sistema Sorbe-Henares con sus correspondientes "ecosistemas tipo" del cuadro de Wurtz (1.961) que es el que normalmente utilizan los fluviólogos franceses.

#### b) Estimación relativa directa

Si con el "back calculation" tenemos una idea global de como marcha la productividad secundaria en el Sistema, esta idea aún es demasiado grosera pues desconocemos el papel que juega cada una de las especies en este proceso. Una forma de paliar en alguna medida esta laguna es mediante el cálculo del coeficiente de producción específica (C), que podríamos definirlo como la producción en unidades de tiempo por unidades de biomasa para cada espe

cie dada. El coeficiente de producción específica es pues muy similar al índice P/B. Sin embargo, a la hora de expresar un valor de C, como éste es enormemente variable en función de la temperatura (C tiende a incrementarse con el aumento de la temperatura), de la edad de la población considerada (ya que el aumento de peso declina con la edad, con lo que se da siempre una menor producción específica en las poblaciones que contienen mayor número de adultos) y de la duración del ciclo de la vida, entendiendo ésta como la máxima duración de la vida de los individuos de la población considerada en condiciones ambientales normales, (C decrece cuanto más largo es el ciclo vital de la especie considerada) más que dar un valor concreto determinado, cuya significación solo sería en "tiempo real", prefiero dar valores "standard" de las poblaciones de unas cuantas especies estudiadas en el laboratorio, para así dar una orientación de que es lo que puede acaecer con las poblaciones presentes en el Sistema, al menos durante el verano, ya que los datos están recogidos a temperaturas que oscilan entre los 20 y los 22° C.

Con relación a las especies presentes en el rhithron del Sistema Sorbe-Henares, sólo he conseguido los valores dados por Sokolova (1.968) para Tanytarsus sp, el cual cifra a C oscilando entre 0,09 - 0,10, coeficiente bastante alto que debe ilustrar bien lo que debe ocurrir con la productividad de las larvas de insecto en el rhithron.

Con relación a las especies presentes en el epipotamon del sistema Sorbe-Henares, hemos de distinguir entre la



productividad específica debida al subsistema en suspensión y la debida al subsistema bentónico, las cuales presentan grandes diferencias en relación a sus coeficientes de productividad específica. Así, formas zooplanctónicas cuya duración de vida viene a ser cercana a un mes, como p. ej: Dafnia o Cyclops presentan respectivamente C con valores de 0,21 a 0,45 para la primera y alrededor de 0,12 para la segunda, como lo muestran los estudios de Galkouskaya (1.966) y Pechen (1.969).

El subsistema bentónico por el contrario muestra valores mucho más bajos y así p. ej.: los bivalvos, macroinvertebrados representativos del epipotamon presentan unos coeeficientes de  $C = 0,0038$  para el caso de Unio pictorum, (Negus, 1966),  $C = 0,0044$  para Sphaerium (Arabina, 1.968) y  $C = 0,0044$  para Bithynia tentaculata (Arabina, 1.968)

Debemos hacer la salvedad por ej. que en el caso de Unio este coeficiente debe ser aún más bajo en el río Henares debido a lo "vieja" que resulta la población encontrada (recordaré que todos los ejemplares capturados son mayores de seis años).

Estos datos extraídos de la bibliografía, aún cuando sean a nivel de laboratorio son ya lo suficientemente indicativos de cual es la pauta general que siguen las distintas comunidades en los distintos subecosistemas. Si los ordenamos de mayor a menos, podemos distinguir tres categorías de organismos en orden a los valores hallados para este coeficiente.

A) Aquellas especies que presentan valores de C muy altos que son características del subsistema en suspensión del epipotamon. En ellas son predominantes las formas fito y zooplanctónicas. Se trata en general de especies oportunistas que siguen la estrategia de la R y tienden a superar a sus competidores aumentando la tasa de multiplicación.

B) Aquellas especies que presentan valores de C intermedios que son las características del subecosistema bentónico del rhithron. Se trata en general de especies univoltinas con una tasa de multiplicación relativamente elevada para compensar las pérdidas debidas generalmente al drift.

C) Aquellas especies que presentan valores de C muy bajos que son características del subsistema bentónico del potamon. Se trata en general de especies de ciclo de vida largo (al menos mayor que un año) que siguen la estrategia de la K, es decir especies que son capaces de resistir la presión ejercida por los depredadores y los competidores manteniendo baja su tasa de renovación y a la adopción adaptativa de mecanismos variados de defensa.

Así pues, esta información permite modular un poco la obtenida mediante el "back calculation" y si bien podemos decir que la producción secundaria se incrementa de forma absoluta hacia aguas abajo (salvo las regresiones impuestas por la contaminación), este aumento de alguna manera viene emparejado por una disminución del cociente P/B a nivel del subsistema bentónico, lo cual parece tes

timoniar un aumento de la biomasa del plantel permanente y por lo tanto un incremento en la cantidad de biomasa soportada por unidad de energía.

Por otra parte esta disminución del cociente P/B parece acoplada a la explotación por parte del sistema bentónico del subsistema en suspensión cuyo alto cociente P/B debe suministrar el suficiente alimento para explicar los dos máximos de productividad piscícola encontrados en las estaciones 5 y 6 y 9 y 10.

Por otra parte, resulta también interesante reseñar los efectos de la fuerte contaminación orgánica sobre el sistema, y así la sustitución de especies en el potamon por el tandem dominante "Chironomus - Limnodrilus" también tiene un reflejo en la productividad específica. Investigadores como Sokolova (1.968) encuentra para Chironomus valores de C que oscilan entre 0,019 y 0,024 y Poddubnoya (1.963) valores para Limnodrilus con un promedio de producción diurna en verano de 0,04. Todo ello nos indica que la contaminación orgánica afecta al ecosistema bentónico de potamon, conduciéndolo hacia valores P/B más altos que los que cabría esperar y desde luego mucho más cercanos a los encontrados en el rhithron. La fuerte contaminación orgánica pues, se comporta como un elemento desorganizador, que despilfarra mucha energía, transformando un ecosistema bastante maduro en otro que lo es mucho menos, y en este sentido sí que parece muy claro hablar de contaminación orgánica como de un importante factor de regresión.

Diversidad y Contaminación en el sistema Sorbe-Henares.-

Muchos autores, han intentado relacionar la riqueza en es pecies ó la diversidad con la calidad de las aguas. Así, p. ej. Gaufin (1.956); Harrel (1.968); Wilhm (1.970), han considerado que valores muy altos en diversidad en un medio ambiente dado eran sinónimo de aguas limpias y que por el contrario, una baja diversidad es indicativa de una situación polucionada. Consecuentemente con esto, varios índices han sido propuestos, aplicados a datos cuantitativos, apoyándose generalmente en hipótesis sobre la distribución de las especies corrientemente log-normales ó exponenciales,  $S/\log N$ ,  $S/\sqrt{N}$ , etc. Así, desde Gleason (1.922), pasando por Margalef (1.951-1.957) hasta los más modernos de Beck (Bio tic Index, 1.969), ó de Cairn (Sequential Comparison Index 1.971), numerosos son los ecólogos que han utilizado la teo ría de la información atraídos por la regularidad en el nú mero de individuos de las diferentes especies presentes en el ecosistema dispuestos en abundancia decreciente.

Sin embargo, ya a comienzos de la década de los 70, Hurlbert (1.971) lanzó la primera andanada sugiriendo que el término "diversidad" se ha transformado en un concepto sin significación y posteriormente Archibald (1.972) demostró que existen otros muchos factores, que no son la simple polución, los que afectan a la diversidad. Por otra parte, los índices de diversidad al prescindir de los taxones, pueden dar valores similares para estructuras de comunidades total mente diferentes. Todo ello ha dado lugar a que a partir de 1.972 los índices de diversidad hayan sido enterrados poco

a poco y sustituidos por todavía balbuceantes análisis matemáticos como la correlación canónica, el cluster, etc... que aún no han acabado de cuajar.

Desde mi punto de vista, este abandono es peligroso y corresponde más bien a una posición extremista de pasar del "todo" a la "nada". Antes que desechar el concepto, debe reducirse la diversidad a su valor real y considerarla simplemente como lo que es, una expresión de la riqueza y variedad de las especies, o en palabras de Margalef "una expresión de la capacidad de contener una información de una asociación".

Vistas así las cosas, la diversidad tiene un valor importante, sobre todo si asumimos que una diversidad más elevada nos indica por un lado un mayor número de nichos reales, y por el otro, la existencia de cadenas tróficas más largas, mayor número de casos de parasitismo, simbiosis etc..

Refiriendo por tanto la diversidad a la organización de las redes tróficas y estudiando la variedad y abundancia de las especies en cada uno de los niveles tróficos obtenemos una información muy valiosa que nos ilustra sobre en qué nivel de la cadena ejerce la contaminación su impacto, y el grado de estabilidad del ecosistema.

Por otra parte, al concebir de este modo la diversidad, (al estar asociados en el sistema los flujos de energía y materia) ésta es proporcional al tiempo, con lo que la medida de diversidad es también una medida de la cantidad de tiempo que gasta la energía en un sistema desde su fuente a su

fin, con lo cual podemos aplicar de forma orientativa la ecuación de Margalef:

$$D = K \frac{B}{p}$$

de donde inferimos que la productividad por unidad de biomasa es en alguna medida, una función decreciente de la diversidad.

Aplicando esta expresión de la diversidad a las algas bentónicas en el ecosistema en otoño, encontramos valores del tipo:

$$\text{Estación nº 5} \quad D = K \frac{9.032}{454} = 19,89 \text{ K}$$

$$\text{Estación nº 7} \quad D = K \frac{3.679}{245} = 15,01 \text{ K}$$

$$\text{Estación nº 8} \quad D = K \frac{2.729}{284} = 9,60 \text{ K}$$

Si aparte de estos índices de diversidad tenemos en cuenta el número total de especies diferentes de microalgas encontradas en cada una de las estaciones del sistema:

| Estaciones                   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| nº de especies de microalgas | 19 | 18 | 37 | 28 | 23 | 22 | 25 | 24 | 23 | 14 | 13 |

La comparación de ambos tipos de valores nos permite de nuevo apreciar el impacto de la contaminación sobre los productores primarios. Así, pese a que la tendencia general parece incrementar la variedad en especies de microalgas hacia aguas abajo, los impactos ejercidos por Guadalajara y Alcalá, tanto en lo referente a sus residuos urbanos como a los vertidos complejos de sus respectivos polígonos industriales,

inducen una fuerte reducción en la variedad de las especies, y así los valores de máxima diversidad (estación nº 5) no vuelven a alcanzarse nunca en el Sistema; a ello contribuye posiblemente el que sea precisamente en la estación nº 8 donde se encuentran los valores más altos de insecticidas organoclorados (DDT, Aldrin y Dieldrin fundamentalmente), los cuales debido a su gran estabilidad química alcanzan bien las estaciones 9 y 10 y, pese a que para otros tipos de contaminantes especialmente orgánicos las aguas se han autodepurado bastante bien en estas estaciones, su persistencia les posibilita seguir actuando sobre el fitoplancton reduciendo su diversidad e incrementando la abundancia de las especies más resistentes. Este incremento en la abundancia es especialmente llamativo en la estación nº 9, donde las microalgas se ven muy favorecidas por la represa de las aguas.

Comparando como significativos los datos de la estación 5 y los de la estación 8 (no tomo en cuenta los de las estaciones 12 y 13 por las razones que ya aducí en el capítulo dedicado a las microalgas) vemos como para la estación nº 5 (37 especies diferentes) le corresponden unos valores de D casi dobles a los de la estación nº 8. Estos valores de D, pese a su carácter únicamente orientativo, reflejan bien como la contaminación disminuye fuertemente la eficiencia energética de los sistemas biológicos, aumentando llamativamente el coste energético para mantener cada unidad de biomasa, con lo cual la contaminación vuelve a presentarse como un importante factor regresionador de una parte del ecosistema.

Si ahora pasamos del estudio de la diversidad en los productores primarios al estudio de la diversidad en los consumidores y agrupamos a cada especie diferente encontrada según el eslabón trófico que le corresponde según los estudios autoecológicos, el cuadro siguiente nos da ya una idea clara de como varía la estructura de la comunidad en cada una de las estaciones del Sistema:



| Tipo de alimentación |   | Estaciones |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|---|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| MACROINVERTEBRADOS   |   | 1          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| PECES                | Consumidores primarios                                      | 4          | 5  | 6  | 6  | 8  | 10 | 4  | 3  | 4  | 5  | 2  | 0  | 1  |
|                      | Detritívoros-pescadores y Diversívoros                      | 13         | 7  | 7  | 9  | 5  | 6  | 9  | 6  | 10 | 9  | 6  | 8  | 4  |
|                      | Materia orgánica bentica                                    | 0          | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 4  | 3  | 4  | 1  | 5  | 3  | 4  |
|                      | Depredadores  | 3          | 4  | 9  | 9  | 7  | 10 | 13 | 10 | 14 | 14 | 6  | 3  | 4  |
|                      | C <sub>2</sub> C <sub>3</sub>                               |            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| PECES                | C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub>                | 0          | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 4  | 6  | 6  | 0  | 0  | 0  |
|                      | C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> C <sub>4</sub> | 1          | 1  | 2  | 3  | 2  | 2  | 0  | 1  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  |
|                      | Nº total de especies diferentes                             | 19         | 26 | 28 | 24 | 31 | 32 | 27 | 40 | 37 | 19 | 14 | 13 |    |

A primera vista, de este simple cuadro sobre la variedad de las especies se sacan ya algunas conclusiones interesantes:

1º) El número de especies crece aguas abajo, salvo en aquellos puntos en los que la fuerte contaminación orgánica y compleja induce una brusca reducción.

2º) Las aguas ácidas (estación nº 2) son menos ricas en variedad de especies que las aguas alcalinas.

3º) Parece existir una buena correspondencia en aguas limpias entre variedad de especies de microalgas y variedad de consumidores primarios, así las estaciones 5 y 6, que presentan los valores máximos de variedad específica para microalgas, también presentan estos máximos para variedad de consumidores primarios. Hay que destacar sin embargo que esta relación no se cumple para aguas contaminadas, las cuales reducen selectivamente la variedad de especies tanto de microalgas como de consumidores primarios incrementando la abundancia sólo de aquellas especies más resistentes.

4º) Aguas abajo crece el número de especies que se alimentan de materia orgánica béntica, al igual que parece incrementarse el número de especies depredadoras hasta donde lo permite la contaminación.

5º) La represa de La Oruga (estación nº 9) genera unas condiciones totalmente nuevas en el sistema, en donde las aguas parcialmente autodepuradas y conteniendo una gran riqueza mineral posibilitan la existencia de una gran abundancia de las especies fito y zooplanctónicas que soportan estas condiciones de semicontaminación. Esta proliferación de los or

ganismos constituyentes de los primeros eslabones de las cadenas tróficas va en parte a explicar el que sea en esta estación y en la nº 10 que está bajo su inmediata influencia, donde se den los números mayores en lo que a variedad de especies se refiere.

Aparte de estas conclusiones generales que saltan a primera vista, conviene ahora analizar la estrategia de la vida en cada una de las estaciones para poder explicarse así las líneas generales que gobiernan la arquitectura del edificio biológico, así como mostrar con claridad las variaciones que ejercen tanto los factores ambientales como los contaminantes en el Sistema Sorbe-Menares.

#### Estación nº 1: Galve de Sorbe.-

La base de la pirámide eltoniana está formada por los macro invertebrados detritívoros-pescadores, encargados de capturar el alimento que les porta la corriente en suspensión. Existe una gran variedad de especies (Habroleptoides, Limnephilus, Ithytrichia, Leptocerus, Anabolia, Simulium, Diamesa, Tanytarsus, Dicranota, Planorbis, Segmentia y Limnea) que explotan las diversas formas mediante las cuales la corriente conduce o deposita la materia orgánica alóctona que constituye la fuente principal de energía. Por otra parte, al ser un terreno de Hidromorfos calizas, el sustrato y las aguas ricas en sales, permiten la existencia de abundantes macrófitas (Nasturtium, Veronica, incluso Thypha etc.), musgos (Fontinalis) e incluso acúmulos de algas filamentosas (Spyrogira) que posibilitan también la existencia de una

fauna de consumidores primarios entre los que destacan Baetis y Gammarus más asociados a las macrofitas y Ecdyonurus y Ancylus más asociados a las piedras, todos ellos buenos consumidores de algas bentónicas.

Estos seres, y muy especialmente los Baetis, Gammarus y Simulium mantienen una productividad muy alta, constituyendo por sí solos la mayor parte de la biomasa que existe en esta estación.

Los depredadores están abundantemente representados por Plectonemia comparsa, que parece sentir especial predilección por los Baetis. Esta gran proliferación de Plectonemia puede explicarse por dos motivos: por un lado, la gran abundancia de alimento disponible para este tricóptero carnívoro que se expande tanto por el perifiton como por el bentos, por otro la no existencia de depredadores eficaces para esta especie, pues Salmo trutta sólo alcanza estas aguas ocasionalmente debido a las subidas naturales de la  $DBO_5$  que acaecen fenológicamente. Los otros depredadores están muy débilmente representados en cuanto a abundancia y su presencia, al menos durante el período de estudio, parece testimonial. Polycelis se alimenta de Baetis y Ecdyonurus fundamentalmente y las larvas de Hydraena depredan lo que pueden.

#### Estación nº 2: Pozo los Ramos.-

La base de la pirámide eltoniana la siguen constituyendo los macroinvertebrados detritívoro-pescadores bien representados por Tricópteros con vaina (Limnephylus, Brachy-

cercus), Dípteros (Simulium, Cricotopus, e inclusive en algunas piedras abundantes Rheotanytarsus) y efémeras del tipo Habroleptoides y Paraleptophlebia. Todo ello nos vuelve a confirmar que es la materia alóctona transportada por la corriente la principal fuente de energía que abastece a toda la comunidad.

Como en el caso de la estación nº 1, también explotan a las algas bentónicas fundamentalmente Efémeras (Ecdyonurus, Rhitrogena, Heptagenia y Baetis) y Ancylus que constituyen los consumidores primarios. La diferencia con relación a Galve radica en la desaparición de Gammarus, posiblemente relacionada con la reducción de macrófitas, pues sólo Ranunculus (cuyas raíces son capaces de retener el barro suficiente para generar hábitats para los Lumbricúlidos) y Miriophyllum entre los vegetales superiores e Hypnum entre las briofitas tienen una representación abundante.

A nivel de los depredadores, Plectonemia está sustituida por el diversívoro Hydropsyche, que parece seguir prefiriendo Baetis, y la cadena trófica se alarga un eslabón más por la aparición de Perlodes y en menor medida de Perla, que depredan tanto a las Efémeras como a Hydropsyche. Polycelis incrementa algo su representación y como representantes a nivel superior, Condrostoma polylepis que ocupa papeles de consumidor 1, 2 y 3 y Salmo trutta fario con eslabones C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> acaban por completar el cuadro.

Estación nº 3: Muriel.-  
=====

También aquí la base de la pirámide eltoniana está consti-

tuida por los macroinvertebrados detritívoros-pescadores de composición bastante similar a los de la estación nº 2 salvo la aparición de Blepharocéridos tipo Liponeura.

Por otra parte, los consumidores primarios se encuentran más abundantes que en la estación nº 2, ya que al ir ganando nutrientes el agua y especialmente nitratos gracias a los aportes de la aliseda que bordea el río, se ve en alguna manera favorecido el desarrollo de microalgas bentónicas y de macrófitas tipo Ranunculus y Myriophyllum. Así se mantienen las mismas especies de Efémeras incrementándose en abundancia Baetis y Heptagenia, son más numerosos los Ancylus y aparecen Tricópteros algívoros tipo Cheumatopsyche.

De todas formas, el cambio verdaderamente significativo se da en cuanto a la riqueza de macroinvertebrados depredadores, como consecuencia del aumento en abundancia de los seres de niveles tróficos inferiores, dentro de los cuales Hydropsyche y Perlodes siguen siendo las más abundantes bien acompañadas por los Odonatos (Neurocordulia y Anax), los Coleópteros (Laccobius), Perla y Moluscos del tipo Physa y la consabida Polycelis.

Los Teleósteos siguen representados por la trucha y la boga a los que se une en esta estación Leuciscus cephalus. Todo ello configura el que la estructura de la comunidad aparezca bastante regulada. Los fenómenos de competencia desencadenan finos mecanismos de regulación (p. ej.: trucha-cacho Perlodes-Perla etc..) observándose que no parece cumplirse a rajatabla el principio de exclusión por el nicho, y aun-

que resultan favorecidas en general las especies que tienen un mayor número de descendientes que sus competidores, estas no llegan nunca totalmente a reemplazarlos, subsistiendo siempre una representación de la especie menos favorecida, tal vez como reserva, para si las condiciones cambiaran y la especie dominante fuera muy afectada, invertirse los papeles de tal modo que el nicho nunca quedara descubierto.

#### Estación nº 4: El Colchón.-

La base de la pirámide eltoniana sigue constituida por los detritívoro-pescadores dentro de los cuales aparecen nuevas especies entre ellas Caenis, efémera de madriguera y Nemoura entre los Plecópteros. La aparición de este tipo de especies, así como en general la mayor abundancia de los detritívoro-pescadores testimonian el enriquecimiento moderado que tiene lugar en el agua gracias a que la apertura del valle del Sorbe empieza a propiciar el aprovechamiento agrícola de las tierras.

Con relación a los consumidores primarios, éstos se mantienen en el mismo nivel que en la estación nº 3 y tal vez lo más significativo sea la aparición del crustáceo Athyaephira.

Los depredadores también mantienen una estructura similar a la de la estación nº 3 en cuanto a riqueza en especies, aunque crezca proporcionalmente su abundancia en virtud del crecimiento en abundancia de los detritívoros.

Con relación a los teleósteos, a la boga, el cacho y la

trucha se les une Barbus barbus bocagei que es  $C_1 C_2 C_3 C_4$  con lo que aumenta la competencia entre estas especies, aunque la abundancia de comida hace que esta no resulte dramática.

Si hacemos pues un resumen de las estructuras de las comunidades observadas en las cuatro estaciones del río Sorbe comprobamos que:

A) En todas ellas la base de las pirámides tróficas está constituida por los macroinvertebrados detritívoro-pescadores, lo que vuelve a confirmar que en el rhithron es la materia orgánica alóctona la principal fuente de energía que entra en el sistema. Existe además una correlación entre la cantidad de esta materia que lleva la corriente y la abundancia y diversidad de las especies detritívoro-pescadoras existentes en cada estación de muestreo.

B) A medida que descendemos hacia aguas abajo se van incrementando tanto en abundancia como en diversidad los consumidores primarios, paralelamente al enriquecimiento del agua por nutrientes, bien procedentes por la lixiviación de las litofacies, bien por aportes alóctonos dentro de los cuales destacan los aportes en nitrógeno debidos a la aliseda que bordea el Sorbe de Muriel a Beleña.

C) También hacia aguas abajo crece el número de depredadores, consecuencia lógica del incremento en abundancia y diversidad de las especies de los eslabones tróficos inferiores que constituyen su comida. Así pues asistimos a un incremento en la presión de predación que ayuda lógicamente



a mantener constante la diversidad del nivel trófico de las presas. En efecto, en un hábitat donde la presión de predación es muy grande se seleccionan los genotipos de las especies que no son devoradas, y en este caso, en la competencia entre especies "víctimas" triunfan las que son capaces de persistir mejor con una tasa de aumento igual o menor al de las otras especies competidoras (estrategia de la K).

Este parece ser un mecanismo regulador importante que permite ir haciendo "madurar" al ecosistema, ya que estimular la diversidad de las presas y regularla es aumentar el número de rutas que puede seguir el flujo de energía a través del sistema, con lo cual el ecosistema va ganando estabilidad, pues frente a cualquier ruta errónea, existen muchas otras que pueden reemplazarla.

#### Estación nº 5: La Alarilla.-

Al vertirse el Sorbe al Henares la estructura de la comunidad va a variar bruscamente. A ello contribuyen principalmente dos tipos de factores: por un lado, la mayor riqueza en sales disueltas que portan las aguas del Henares, y la mayor cantidad de luz que reciben las aguas al desaparecer la aliseda y encontrarse desforestadas ambas orillas, y por otro la mayor turbidez de las aguas debido a la escorrentía durante gran parte del año, cuyos sólidos en suspensión son capaces de colmar y romper las redes de los detritívoros-pescadores.

Todo ello va a configurar el que por primera vez en el Sistema, la base de la pirámide no la constituyan los detrití

voro-pescadores (aunque entre estos Simulium siga jugando un papel importante) sino las algas bentónicas y los consumidores primarios asociados a ellas y a Potamogeton crispus.

La importante cantidad de sólidos en suspensión generados por escorrentía posibilita el que sean las diatomeas bentónicas con su duro caparazón de sílice, las microalgas que resulten menos dañadas por la abrasión, compensando también la fuerte insolación del sistema en alguna medida la falta de luz generada por la turbidez. Esto explica que los consumidores primarios vean incrementada su representación hasta tal punto que consecuentemente con el incremento en diversidad y abundancia de las algas bentónicas, los Efemerópteros crezcan tanto en diversidad como en abundancia apareciendo incluso "relevos" entre distintas especies para que el nicho nunca quede vacío. (Es significativo el caso de Oligoneurella, especie típicamente de verano que sustituye en parte a Baetis, cuando la mayoría de la población de estas ha emergido). Otro indicio significativo es el "relevé" encontrado entre Gammarus que suele ocupar esta estación preferentemente durante el verano y Atyaephyra que la ocupa preferentemente durante el invierno.

La presión de los macroinvertebrados depredadores afloja, y entre los teleósteos es significativa la desaparición de la trucha, ocupando los eslabones  $C_1$   $C_2$   $C_3$  y  $C_4$  el cacho y el barbo y los  $C_1$   $C_2$   $C_3$  la boga y el Rutilus arcassii (la bermejuela) que por vez primera aparece en el Sistema.

En general la estructura de la comunidad parece responder a un ambiente más inestable, en el que la "frontera lateral"

que supone el recibimiento del Sorbe por la margen derecha constituye un factor de permanente inestabilidad sobre todo en lo referente a las variaciones del nivel del agua, agravada por la escasa cobertura vegetal de ambas orillas.

Estación nº 6: Fontanar.-  
=====

El esquema fundamental de la estructura de las comunidades en esta estación es bastante similar al de la estación nº 5, sin embargo la contaminación por vez primera va a ejercer una influencia considerable sobre la estrategia de la vida, de tal modo que la contaminación no muy fuerte por materia orgánica procedente de Yunquera, Fontanar y las granjas agrícolas, así como la aportada por el lavado de suelos (fundamentalmente nitratos) va a generar que a través de las fronteras laterales que constituyen los diversos vertidos tenga lugar un gran aporte de nutrientes que va a suponer un aumento de energía disponible para todos los niveles tróficos. El primer impacto ocasionado por estos nutrientes tiene lugar en las poblaciones de microalgas bentónicas, las cuales por efecto del enriquecimiento salino, aunque disminuye algo su diversidad, van a ver incrementada su abundancia e incluso desencadenan fenómenos puntuales de eutrofización ciertos días de verano. Consecuentemente con esto, los consumidores primarios van a incrementar mucho, tanto en abundancia como en diversidad, ampliando la base de la pirámide eltoniana.

Los detritívoro-pescadores van a incrementarse también en abundancia y algo menos en diversidad con relación a su re

presentación en la estación nº 5.

Los depredadores por su parte, son los que consecuentemente con el aumento de consumidores primarios, van a ver también incrementada su abundancia y diversidad, con lo cual vuelve a hacerse mayor la presión de predación. Por su parte, la diversidad de teleósteos se mantiene constante pero aumenta su abundancia al haber más alimento disponible.

Así pues, el primer impacto que ejerce la contaminación orgánica moderada sobre la estructura de las comunidades se traduce sólo, no en una variación de la arquitectura propiamente dicha, sino en el aumento en cuanto a abundancia, fundamentalmente de consumidores primarios y depredadores, volviendo a permitir que el sistema recupere estabilidad.

#### Estación nº 7: Chiloeches.-

La estructura de la comunidad vuelve a cambiar bruscamente tras los vertidos de la ciudad de Guadalajara. En la estación 7, en la que ya los vertidos se han autodepurado parcialmente el aumento de materia orgánica se traduce en un aumento del material biodegradable disuelto y del material biodegradable en suspensión, con lo cual se ven favorecidos los detritívoros saprobiontes y los filtradores respectivamente. Así Tubífidos, Chironomus, Ortocladinae, Pisidium y Musculium van a ser de nuevo los pilares que constituyan la base de la pirámide eltoniana. Por su parte, y en lo referente a los consumidores primarios, la fuerte reducción de las microalgas bénticas trae emparejada también la reducción en cuanto a diversidad de los seres que ocupan es-

te nivel, y sólo las especies más poluoresistentes como Baetis y Gammarus mantienen su representación.

Por su parte, el eslabón de depredadores sufre también un fuerte incremento, apareciendo por vez primera con gran abundancia los Hirudíneos, fundamentalmente Erpobdella que depreda Oligoquetos, Odonatos, Coleópteros, Efémeras, Dípteros y especialmente Chironomus, caracoles y planarias.

A nivel de los Teleósteos hay una sustitución brusca apareciendo Cyprinus carpio y Carassius auratus cuya presión de predación es bastante inferior a la que ejercían los Teleósteos en otras estaciones.

Resumiendo pues, la contaminación ejercida por Guadalajara y su polígono del Balconcillo implica un cambio en la estructura de la comunidad, con sustituciones y pérdida de muchas especies poluosensibles. En su conjunto la introducción de una fuerte cantidad energética en forma de compuestos orgánicos ejerce efectos similares a los de una fuerte explotación. Así asistimos a una aceleración del flujo de energía, con aumento de la relación P/B y a una simplificación de la estructura, con la destrucción de muchos mecanismos homeostáticos que conferían estabilidad. Esta parte del ecosistema no sólo regresa sino que además está condenada a un estado de baja madurez ya que el enorme flujo de nutrientes orgánicos que continuamente aportan los vertidos no le da el tiempo suficiente para asimilarlo y poder alcanzar un cierto grado de equilibrio.

Estación nº 8: Santos.  
=====

En esta estación se mantiene la misma estructura de comunidades que se generó a partir de los vertidos orgánicos de Guadalajara, lo cual es un buen testimonio de que aún el Henares lleva aquí una  $DBO_5$  bastante elevada. Sin embargo, pese a mantenerse el diseño, hay una pérdida generalizada en diversidad y también en abundancia para muchos tipos de seres por efecto de la contaminación compleja que ejerce el Polígono Industrial de Azuqueca de Henares, con industrias tan importantes como Duralex o Tudor.

La base de la pirámide eltoniana formada por los detritívoros saprobiontes es un poco más reducida que en la estación anterior. También los consumidores primarios se han reducido en diversidad, debido a la reducción de microalgas y sólo Baetis y Gammarus mantienen proporciones abundantes.

Por su parte los seres típicos de fondos de aguas contaminadas, Limnadrilus y Chironomus thummi continúan medrando bien como en la estación 7, y entre los depredadores sigue siendo Erpobdella y los Odonatos los seres más abundantes. En cuanto a los Teleósteos reaparecen junto a carpa y carpín el cacho y la bermejuela y progresivamente hacia aguas abajo aparece por primera vez el Sistema Cobitis taenia (la colmilleja). En resumen, asistimos a una situación similar arquitectónicamente en cuanto al edificio biológico que en la estación anterior pero con una estructura más reducida construida con menos elementos. Se da pues la paradoja de que la autodepuración que debería producirse naturalmente en el río se ve por una parte frenada y por otra parte, la situación se ve agravada por los vertidos indus-

triales y agrícolas, con lo cual esta parte del ecosistema se mantiene en un nivel de inmadurez constante aún mayor que el de la estación anterior.

Estación nº 9: Oruga.-

Fruto de que aún permanece alta la  $DBO_5$ , la estructura de la comunidad se mantiene similar en rasgos generales a la de las dos estaciones anteriores. Sin embargo asistimos a importantes variaciones que merecen ser reseñadas:

A) La represa de las aguas y su riqueza en nutrientes favorece la proliferación en cuanto a abundancia de las especies fito y zooplanctónicas resistentes a la contaminación compleja que aún perdura en el río. Ello posibilita que los consumidores primarios ganen en abundancia (en particular Athyaephyra y Baetis). De todas formas, su proliferación está bastante disminuida todavía por la acción de los organoclorados.

B) Como las aguas, pese a la autodepuración parcial sufrida, continúan ricas en materia orgánica los detritívoros saprobiontes siguen siendo abundantes. Por otra parte, al favorecer la deposición de los sólidos en suspensión la formación de fondos limosos asistimos a un fuerte incremento en cuanto a abundancia de los Oligoquetos y Dípteros que explotan directamente los lodos formados.

C) El incremento en cuanto a diversidad de los depredadores es una consecuencia lógica del aumento en abundancia de los eslabones inferiores de la red trófica que constituyen su

alimento. Si nos referimos a la abundancia relativa hay que señalar que son los Odonatos los más numerosos de los depredadores debido a que encuentran en las macrófitas además de un sustrato eficaz, la proximidad de sus presas (*Athyaephyra* principalmente).

D) Con relación a los Teleósteos, estos aumentan muchísimo en abundancia y diversidad fundamentalmente los de niveles  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ ; reapareciendo barbos y bogas y apareciendo por primera vez en el Sistema el gobio.

El papel pues que genera la represa de las aguas es altamente benéfico para el ecosistema, posibilitándole una autodepuración semejante a la de una laguna de decantación. El ecosistema presenta aquí una productividad bruta muy elevada, una mayor presión de predación, un incremento en la diversidad, un mayor tamaño de las redes tróficas y por lo tanto una mayor eficiencia energética, testimonio de una mayor madurez.

#### Estación nº 10: Virgen del Val.-

El salto de aguas tras la represa, pese a no ser muy grande, funciona para el río como la segunda parte de una depuradora, tras la sedimentación viene la aireación, y sube la calidad general del agua.

Todo ello hace que la estructura de la comunidad pese a ser similar en cuanto a su arquitectura con relación a la estación nº 9 que la influencia directamente con sus arrastres, presenta la aparición de especies cuyo espectro ecológico testimonia la mejora de calidad.



La base de la pirámide eltoniana sigue constituida por los detritívoros, entre los que aparece por primera vez Unio, (aunque parece estar en franca regresión). Por otra parte, disminuye la diversidad y abundancia de los Oligoquetos y Dípteros que explotan los lodos, por disminución de éstos. Los consumidores primarios aumentan en diversidad, más que por incremento del número de microalgas, por reducción de los niveles de organoclorados y macroinvertebrados depredadores y los peces continúan representados de forma similar a la de la estación 9, con lo cual la presión de predación sigue siendo muy alta. El ecosistema pues sigue presentando en esta estación un grado de bastante madurez.

Estación nº 11: Puente Zulema.-  
=====

La estación nº 11 recoge todavía parcialmente el impacto urbano de la ciudad de Alcalá de Henares. Los distintos vertidos en cuanto lo que suponen de aporte nutricio (el material orgánico biodegradable) y de sustancias tóxicas o inhibidoras (detergentes y jabones principalmente) son capaces de ir progresivamente afectando al edificio biológico, y así vamos a ir asistiendo a transformaciones graduales, entre las cuales destacan cambios cualitativos a todos los niveles, la desaparición de grupos enteros y la simplificación acentuada del edificio biológico.

Así los consumidores primarios se ven reducidos tanto en abundancia como en diversidad, desapareciendo los Ancylus, Athyaeophyra y la mayoría de las Efémeras, salvo Baetis

. Tampoco los detritívoros flotantes escapan a es-

ta acción de la fuerte polución orgánica y desaparecen los bivalvos, y sólo algunos dípteros y gasterópodos mantienen su representación. La base de la pirámide eltoniana pasa a estar constituida por los seres saprobiontes que se nutren directamente de materia orgánica y así los Tubífidos otros Oligoquetos y Chironomus thummi constituyen la mayor parte de la biomasa existente. De esta forma, asistimos de nuevo a otro cambio en la estructura de las comunidades.

Consecuentemente con esta disminución en diversidad de los eslabones tróficos inferiores, los depredadores también se encuentran disminuidos con relación a la estación anterior, con lo que disminuye mucho la intensidad de predación. A nivel de Teleósteos el cambio es todavía más drástico, pues se llega a su total desaparición.

En definitiva, la simplificación del edificio biológico vuelve a regresionar fuertemente el ecosistema, disminuye la diversidad, decae la eficiencia energética, y el sistema se ve obligado ya a tomar partido decidido por la vía detrítica, en la que el exceso de materia orgánica desborda la capacidad de utilización por parte del ecosistema, con lo que dicho material se descompone de manera muy poco eficiente, con gran consumo de oxígeno que lleva a la destrucción de comunidades organizadas.

#### Estación nº 12: El Gerafín.-

Esta estación recoge la parte final de los vertidos orgánicos urbanos de Alcalá de Henares y el comienzo de los ver-

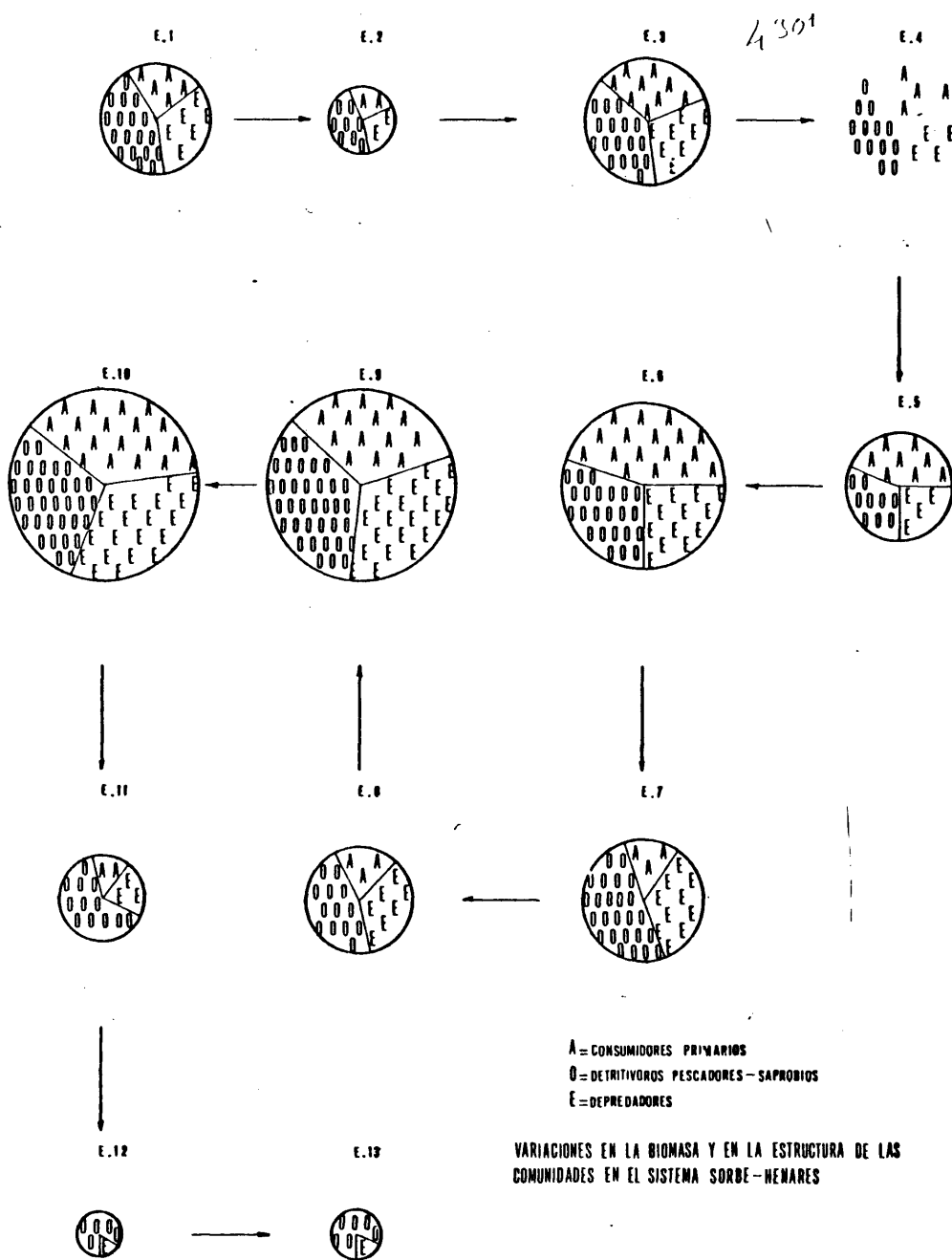
tidos del Polígono industrial de Alcalá. En ella la fortísima polución orgánica, capaz de agotar totalmente el oxígeno disuelto en el agua, unido a la contaminación compleja que afecta incluso a los microorganismos autodepurados, van a ocasionar una reducción muy acentuada de todo el edificio biológico, con una caída de calidad tan grande, que el agua pasa a transformarse en un medio ambiente inapropiado para el desarrollo de los organismos acuáticos. Así pues la base de la pirámide eltoniana va a estar constituida por Limnodrilus, Chironomus thummi, larvas de Culex y de Eristalis casi con exclusividad. Dos especies de moluscos de los géneros Limnea y Bythinia y unos pocos depredadores, la mayoría Coleópteros (Dytiscus) que no dependen de la calidad del agua, constituyen los siguientes edificios. El ecosistema es altamente inestable y totalmente inmaduro.

#### Estación nº 13: Espinillos.-

En esta estación en la cual el río debía haberse autodepurado parcialmente, asistimos casi a una repetición de lo que acaecía en la estación 12. El edificio biológico hallado nos sirve para comprobar como los vertidos industriales de las variadas industrias que evacúan al río tienen un efecto muy importante sobre los microorganismos, de tal modo que son capaces de retrasar sino impedir la mineralización de las sustancias biodegradables, con lo cual no puede producirse la autodepuración a la par que reducen aún más la calidad del agua. (Especial importancia en este sentido tienen los vertidos antibióticos de las industrias farmacéuticas). La estructura de la comunidad sigue siendo la

misma que la de la estación nº 12, con un edificio biológico simplificado al máximo en el cual es incapaz de prosperar otro tipo de vida que no sea saprobia casi obligatoria. El ecosistema está totalmente dañado y sin posibilidad de recuperación, pues sólo unos Kilómetros aguas abajo, los vertidos de Torrejón van a caer sobre el Henares, cuando éste ya no tiene mecanismos autodepuradores, transformándose por tanto en una cloaca a cielo abierto.

Como colofón el cuadro siguiente ilustra las especies encontradas en cada estación:



4302

| Estación nº 1  | Estación nº 2     | Estación nº 3   |
|----------------|-------------------|-----------------|
| S.trutta fario | S.trutta fario    | S.trutta fario* |
|                | C.polylepis       | C.polylepis     |
|                |                   | L.cerhalus *    |
| Polycelis      | Polycelis         | Totamobius      |
| Plectonemia *  | Perlodes *        | Neurocordulia   |
| Hidraena       | Perla             | Anax            |
|                |                   | Polycelis       |
|                |                   | Perlodes *      |
|                |                   | Perla           |
|                |                   | Laccobius       |
| Ecdyonurus *   | Ecdyonurus *      | Ecdyonurus *    |
| Baetis *       | Baetis *          | Baetis *        |
| Gammarus *     | Rhithrogena       | Rhithrogena     |
| Ancyclus       | Heptagenia        | Heptagenia      |
|                | Ancyclus          |                 |
| Limnea         | Hydropsyche *     | Hydropsyche *   |
| Segmentina     | Habroleptoides *  | Physsa          |
| Planorbis      | Limnephilus       | Chimarra        |
| Simulium *     | Simulium *        | Cheumatopsyche  |
| Habroleptoides | Reotanytarsus     | Habroleptoides  |
| Limnephilus    | Cricotopus *      | Simulium        |
| Ithytrichia *  | Brachicentrus     | Hiponeura       |
| Leptocerus     | Paraleptoflebia * | Ortocladiinae   |
| Anabolia       | Lumbriculidae     | Reotanytarsus * |
| Tanytarsus     |                   | Antocha         |
| Dicranota      |                   | Paraleptoflebia |
| Helmis         |                   | Lumbriculidae   |

#### ESLABONES TROFICOS EN EL SISTEMA SORBE-HENARES.

( el signo \* significa dominancia en lo referente a abundancia)

430<sup>3</sup>

| Estación nº 4  | Estación nº 5  | Estación nº 6  |
|--|--|--|
| S. trutta fario<br>L. cephalus<br>B. barbus *<br>C. polylepis *<br>Potamobius<br>Anax<br>Neurocordulia<br>Perlodes<br>Perla<br>Laccobius                 | L. cephalus<br>B. barbus *<br>C. polylepis *<br>R. arcasii<br>Anax<br>Neurocordulia<br>Nepa<br>Brychius<br>Laccobius | L. cephalus<br>B. barbus *<br>C. polylepis *<br>R. arcasii<br>Erpobdella<br>Helobdella<br>Neurocordulia<br>Nepa<br>Plea<br>Laccobius<br>Gerris |
| Ecdyonurus *<br>Baetis *<br>Rhithrogena<br>Heptagenia<br>Atyaephyra  | Ecdyonurus *<br>Baetis *<br>Rhithrogena<br>Heptagenia<br>Oligoneurella<br>Atyaephyra<br>Gammarus                     | Ecdyonurus *<br>Baetis *<br>Rhithrogena<br>Oligoneurella<br>Potamanthus<br>Centroptilum<br>Ephemerella<br>Atyaephyra<br>Gammarus               |
| Hydropsyche *<br>Physa<br>Caenis<br>Limnephilus<br>Simulium *<br>Ortocladiinae *<br>Nemoura<br>Rheotanytarsus<br>Antocha<br>Liponeura<br>Paraleptoflebia | Hydropsyche<br>Chimarra<br>Nemoura<br>Simulium<br>Limnephilus<br>Ortocladiinae<br>Tipula                             | Hydropsyche<br>Nemoura<br>Limnephilus<br>Tanytarsus<br>Tanypodinae<br>Simulium<br>Ortocladiinae *<br>Chironomus<br>Nais                        |

430<sup>4</sup>

| Estación nº 7     | Estación nº 8  | Estación nº 9 |
|-------------------|----------------|---------------|
| Cyprinus carpio   | L.cephalus     | L.cephalus    |
| Carassius auratus | C.carpio       | B.barbus      |
|                   | C.auratus      | C.carpio      |
|                   | Cobitis taenia | C.polylepis   |
|                   | R.arcasii      | Gobio gobio   |
|                   |                | C.taenia      |
|                   |                | R.arcasii     |
| Erpobdella *      | Erpobdella *   | Pyrrosoma     |
| Helobdella        | Dina           | Lestes *      |
| Dina              | Pyrrosoma      | Agrion *      |
| Pyrrosoma         | Lestes         | Hiponeura     |
| Lestes            | Isnhura.       | Eritroma      |
| Isnhura           | Planaria       | Erpobdella    |
| Dugesia           | Enochorus      | Planaria      |
| Planaria *        |                | Enochorus     |
| Enochorus         |                | Laccobius     |
| Tipula            |                | Nepa          |
|                   |                | Gerris        |
| Ecdyonurus        | Baetis *       | Baetis        |
| Baetis *          | Cleon          | Cleon         |
| Cleon             | Gammarus       | Atyaephyra *  |
| Gammarus          |                |               |
| Hydropsyche *     | Hydropsyche    | Hydropsyche   |
| Physa *           | Physa *        | Physa *       |
| Ortocladiinae     | Ortocladiinae  | Ortocladiinae |
| Simulium          | Simulium       | Culex         |
| Fisidium *        | Fisidium       | Thamaleuidae  |
| Musculium         | Musculium      | Caenidae *    |
| Spiralina         | Valvata        | Bythinia      |
| Radix             | Bythinia       | Fisidium      |
| Valvata           | Chironomus     | Musculium     |
| Bythinia          | Pachydrilus    | Limnea        |
| Chironomus *      | Limnodrilus    | Gyraulus      |
| Lumbriculus       |                | Amnicola      |
| Limnodrilus       |                | Chironomus    |
|                   |                | Pachydrilus   |



Estación nº 10    Estación nº 11    Estación nº 12    Estación nº 13

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| L.cephalus<br>B.barbus *<br>C.polylepis<br>C.carpio *<br>G.gobio<br>C.taenia<br>R.arcasii   |  |   |   |
| Isnhura *<br>Pyrrosoma<br>Lestes<br>Agrion<br>Hiponeura<br>Eritroma<br>Macromia<br>Erpobdella *<br>Planeria<br>Dytiscus<br>Nepa<br>Gerris | Isnhura<br>Agrion<br>Erpobdella<br>Dytiscus<br>Notonecta   | Erpobdella<br>Dytiscus<br>Tipula  | Erpobdella<br>Dytiscus<br>Tipula<br>Notonecta   |
| Baetis *<br>Ecdyonurus<br>Cleon<br>Atyaephyra   | Baetis<br>Cleon  |   | Cleon   |
| Hydropsyche *<br>Physa<br>Caenidae *<br>Ortocladiinae<br>Thamaleuinae<br>Fisidium<br>Muscilium<br>Unio<br>Limnaea<br>Bythinia<br>Culex    | Hydropsyche<br>Caenidae<br>Ortocladiinae<br>Culex *<br>Chironomus *<br>Limnea *<br>Bythinia *<br>Nais<br>Pachydrilus<br>Tubifex<br>Limnodrilus * | Caenidae<br>Ephydra<br>Ortocladiinae<br>Culex *<br>Eristalis *<br>Anatopynia<br>Limnaea *<br>Bythinia *<br>Chironomus *<br>Tubifex<br>Limnodrilus * | Caenidae<br>Culex<br>Limnea *<br>Bythinia *<br>Criodrilus<br>Chironomus *<br>Tubifex<br>Limnodrilus * |

### El ecosistema en el espacio.-

Como ya hemos podido comprobar en numerosas ocasiones el sistema Sorbe-Henares va cambiando longitudinalmente desde cabecera hasta cola en cuanto a sus propiedades físico-químicas tales como temperatura, velocidad de la corriente, sustrato, conductividad y turbidez etc..., factores que como ya vimos en la parte de autoecología son responsables de controlar la distribución de los biota a lo largo del río.

Se trata ahora, con toda la información que sobre el Sistema se dispone, de intentar, si es que es posible, establecer algún tipo de conexión teórica entre cada una de las zonas discriminadas por los diversos tipos de seres que indudablemente representan distintas subunidades ecológicas en condiciones complejas.

Si repasamos los datos hasta ahora obtenidos y los referimos al espacio, encontramos dos tendencias de comportamiento muy claras:

A) En las aguas no "contaminadas" antropogénicamente, (utilizo el término contaminadas, lo cual no quiere decir que no estén polucionadas), encontramos siempre de aguas arriba hacia aguas abajo, una disminución del cociente Producción/Biomasa, una mayor diversidad, un aumento y una mayor constancia en el número de nutrientes orgánicos e inorgánicos, un número de individuos más constante, un mayor tamaño de los organismos, un alargamiento de las redes tróficas, un papel más importante en el reciclaje de los detritus y un

aumento de la estabilidad emparejado con el desarrollo de sistemas homeostáticos cada vez más sutiles que testimonian que el ecosistema va aprendiendo los cambios ambientales y es capaz de anticiparse a ellos. (p. ej.: adelantando el ciclo antes de la sequía etc..). Si repasamos cuidadosamente cada uno de estos hechos observados, podemos comprobar que se trata precisamente de aquellos fenómenos que los ecólogos citan como regularidades manifiestas para ilustrar el fenómeno de la sucesión. Según esto, cada una de las subunidades ecológicas encontrada en el Sistema respondería a una etapa del desarrollo de una sucesión ecológica, etapas que van ganando en madurez cuanto más aguas abajo nos encontramos. Recordemos que la sucesión se define como "un fenómeno de ocupación progresiva de un espacio, teniendo en cuenta la acción, la reacción y la historia: Así la sustitución de unas especies por otras en grupos de especies que desempeñan una misma función (como ya apreciamos en la distribución horizontal autoecológica) es un acontecimiento esencial de la sucesión". De todas formas conviene analizar aquí esta idea intuitiva que parece relacionarnos cada subunidad ecológica del ecosistema con una etapa de una determinada sucesión. Lo primero que hay que resaltar es que si bien existe un aporte de sustancias y una presión colonizadora por drift de aguas arriba hacia aguas abajo que establecen relaciones reales entre los distintos tramos del sistema, las sucesiones establecidas tienen un carácter muy peculiar, ya que las condiciones de vida no se mantienen constantes sino que varían de una subunidad a otra, con lo cual la zonación horizontal no es estrictamente sucesional sino

que lo que existe es una secuencia de madurez creciente hacia aguas abajo. (Esta matización la considero importante puesto que si no cabría considerar a cada subunidad ecológica como una especie de "climax edáfico", al que el sustrato (en este caso las condiciones del río en ese punto) no permitiría ir más lejos).

En segundo lugar, hay que resaltar que cada subunidad ecológica encontrada lo es, si en esa parte del sistema la estrategia de la vida permite en esa parte del tramo hacer frente a la fuerte presión colonizadora proveniente de aguas arriba y mantener su carácter con un ajuste de las condiciones locales. Esto significa que cada subunidad está recibiendo una cierta proporción de frecuencias génicas que provienen de la etapa anterior de aguas arriba y que sólo puede manifestar un carácter distinto y peculiar si es capaz de alterar sustancialmente las condiciones de competencia seleccionando especies que disminuyan el flujo de energía y la tasa de renovación, (es decir especies que adopten una estrategia de la K más fuerte con relación a los de aguas arriba). Esta es otra idea interesante, pues nos muestra que el flujo unidireccional de genotipos en el espacio del río es análogo al flujo de tiempo en la sucesión.

Aunque esto es cierto globalmente, para cada una de las subunidades ecológicas observadas tal vez convenga analizar un poco más que es lo que ocurre en el sistema en suspensión y en el sistema bentónico, que como vimos anteriormente eran los dos grandes componentes de los dos grandes subecosiste-

mas definidos para el Sorbe-Henares. ¿Existe realmente una relación clara entre las sucesiones observadas en el subecosistema en suspensión y las sucesiones en el subsistema bentónico?. En la zona del rhithron ya vimos que no existía verdadero plancton y que el sistema en suspensión estaba formado únicamente por seres provenientes del drift; en este sentido, y al tratarse fundamentalmente de seres "arrancados" por las causas que fueren de su hábitat, realmente no existe una verdadera sucesión en el subsistema en suspensión, pues la encontrada se corresponde bien con las diferentes etapas de sucesión bentónica.

En el potamon por el contrario, existe ya un plancton verdadero y aunque existe una relación directa entre la turbulencia del agua y las características de las poblaciones planctónicas, la no laminaridad del flujo permite el que existan verdaderas y rápidas sucesiones en el sistema en suspensión.

Por su parte el sistema bentónico, (que en el rhithron en cierta medida "se explotaba a sí mismo" y avanzaba sucesionalmente más cuanto más estable es el sustrato), en el potamon empieza a explotar al plancton, de tal modo que ambos sistemas llegan en cierta medida a acoplarse. De todas formas, las sucesiones halladas para el sistema en suspensión potámico que sigue la estrategia de la R son mucho más veloces que las observadas en el sistema bentónico que sigue la estrategia de la K, de tal modo que frente a las que si aparecen como verdaderas sucesiones planctónicas, las comu-

nidades bentónicas corresponden más bien a un gradiente de madurez con características limitadas de sucesión.

Este tipo de sucesión tan peculiar que estamos analizando puede ayudarnos de alguna manera a relacionar cada una de estas subunidades ecológicas con la posibilidad de evolución de las especies que en ellas se encuentran. En este sentido recordemos que lo observado hacia aguas abajo es la selección de especies con una tasa de renovación más lenta, y por ende con una mayor duración de la vida. Esto parece favorecer la potencialidad de la evolución de aquellas especies que ocupen los lugares de aguas más arriba, pues al incrementarse el tanto por ciento de especies cuya duración de vida es más corta que la duración de los ciclos ambientales, las distintas generaciones sucesivas se ven inmersas en condiciones ambientales diferentes, funcionando para ellas como filtros de selectividad los distintos ciclos ambientales en el sentido de acabar dando especies mucho más plásticas fenogenéticamente (*Baetis rhodani* puede ser un buen ejemplo). Por su parte las especies de aguas abajo, al tener una vida más larga, la duración de la vida suele ser mayor que la duración del ciclo ambiental, con lo que se tiende a desarrollar un genotipo determinado, con especies por lo tanto de menor plasticidad y con una mayor tendencia a la diferenciación genética de expresión demográfica.

B) En aguas "contaminadas" antropogénicamente (incluyo la palabra contaminación en su acepción de "alteración desfavorable del medio") la tendencia observada es precisamente

la contraria. Así asistimos a que cuanto mayor es el impacto de la contaminación, más alto es el cociente P/B, menor es la diversidad, mayores son las fluctuaciones en el número de individuos encontrados, el tamaño de los organismos suele ser menor, disminuye la longitud de las cadenas tróficas, hay un mayor derroche de energía y disminuye la estabilidad general al mismo tiempo que son destruidos los cada vez más burdos sistemas homeostáticos. En definitiva, que la contaminación se nos presenta como un importante factor de regresión del ecosistema, entendiendo esta regresión no como una sucesión inversa, sino como una destrucción irregular de unos elementos del ecosistema.

Esto que es válido para la contaminación en general, interesa desgranarlo para cada uno de los tipos de contaminación encontrada en el sistema, y así distinguiremos espacialmente:

a) Contaminación muy débil de tipo orgánico, es la propia de pueblos como Muriel de 60 habitantes, sus efectos son sólo puntuales y se traducen en una microsucesión puntual en la cual se seleccionan comunidades simples que destruyen con gran rapidez la materia orgánica. La poca importancia cuantitativa de este tipo de vertidos, unido al abundante oxígeno disuelto en el agua por turbulencia, hacen que prácticamente no tenga repercusión en la calidad del agua.

b) A medida que se desciende río abajo el valle se ensancha y posibilita el aprovechamiento agrícola de las terrazas del río, así aparece un nuevo tipo de contaminación, la agraria que se ve agravada por la orografía, la permeabili-

dad de los terrenos y la intensidad de las precipitaciones. Esta contaminación impacta según sus tres formas clásicas de vertidos: 1) Con eliminación de excrementos animales, que se traduce en el sistema en una contaminación débil de tipo orgánico; 2) Contaminación por arrastre del abonado intensivo, que hace subir los niveles de  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$  en las aguas y es la responsable de los fenómenos de eutrofización puntual de la estación nº 6. Por su parte todos los superfosfatos llevan impurezas debidas a metales pesados, y así Ni, Pb y Zn alcanzan en la estación nº 6 sus valores más altos, y aunque éstos no son excesivos, sí que pueden influir sobre los seres más sensibles, como son gusanos, sanguijuelas y moluscos, explicándose así la reducción de sus poblaciones. 3) Contaminación por plaguicidas, en el sistema no se han detectado ni herbicidas, ni fungicidas, pero sí insecticidas organoclorados. Estos alcanzan los valores más altos en las estaciones 7 y 8, como es lógico los seres que resultan más afectados son las larvas de insectos (Efémeras y Tricópteros particularmente) y en menor medida Oligoquetos y Bivalvos; siendo en general particularmente resistentes las larvas de Odonatos y los Copépodos. Realmente este tipo de contaminación no se encuentra en estado puro, pues parte de las fértiles terrazas del valle del Henares han sido incomprensiblemente dedicadas a suelo industrial (cuando a escasos kilómetros podían haberse ubicado en un suelo no agrícola) y así alternan los efectos de la contaminación agraria con los de la industrial.

c) Contaminación urbana fuerte. En la parte estudiada del Sistema dos son los focos de este tipo de contaminación:



Guadalajara y Alcalá de Henares. Ambas constan fundamentalmente de materia orgánica biodegradable y detergentes y jabones. Los efectos de los vertidos de materia orgánica varían según su intensidad y la cantidad de O.D. presente en cada punto del Sistema. Recordaré que se necesita al menos unos 77 gr. de oxígeno diarios para degradar los vertidos de una sola persona y que cada gramo de heces lleva por término medio 1.000 millones de bacterias que consumen oxígeno. Los primeros efectos sobre el ecosistema se traducen en la desaparición de Efémeras (salvo Baetis y Caenis), la reducción de los Tricópteros, el aumento espectacular del número de bacterias y sus depredadores, así como el incremento en biomasa de animales detritívoros como Moluscos y Oligoquetos, así como sus depredadores Hirudíneos y Planarias. El cuadro hasta ahora dibujado esboza bien el panorama de la estación nº 7. En las estaciones 12 y 13 la cosa cambia, pues la inmensa cantidad de materia orgánica vertida es capaz de agotar totalmente el O.D. con lo que todo se simplifica estableciéndose la clásica zonación Bacterias-Protozoos-Dípteros-Oligoquetos y Odonatos oxígeno disuelto-dependientes similar a la de los filtros biológicos. Todo germen de vida aerobia oxígeno disuelto-dependiente queda borrada. Aparte de esta acción sobre el oxígeno disuelto, los vertidos orgánicos incrementan también el número de sólidos en suspensión y posibilita la aparición de venenos tipo  $\text{SH}_2$  y  $\text{NH}_3$ . Con relación a detergentes y jabones, éstos refuerzan aún más la acción de la materia orgánica al formar espumas que impiden el intercambio gaseoso en la interfase atmósfera-agua, con lo que imposibilitan la reaerea-

ción, impiden el paso de la luz y además perturban los procesos de decantación al mantener en suspensión la materia orgánica. Aparte de eso, al concentrar bacterias y virus, favorecen su diseminación los días de viento. Sus otros efectos más directos sobre los seres vivos, como toxicidad para Cladoóceros, Copépodos, Gammarídeos y Gasterópodos pulmonados, así como su acción sobre las Mitrosomonas o sobre las Macrófitas (por formación de perboratos) no parecen llamativos dado las características muy alcalinas y fuertemente tamponadas de las aguas del sistema. Tan sólo parecen contribuir con los polifosfatos que llevan como adyuvantes a favorecer la eutrofización por Cianofíceas de las aguas del Sistema.

d) Contaminación industrial. Es mucha y muy variada, pero podemos reducirla a dos tipos globales de efluentes: Uno biodegradable, que se comporta igual que los contaminantes de tipo orgánico, es decir que aumenta la  $DBO_5$ , los sólidos en suspensión, la conductividad etc.. y otro no biodegradable y generalmente tóxico formado por ácidos y bases fuertes, aditivos de pinturas y plásticos y metales pesados fundamentalmente, amén del impacto térmico de algunos vertidos. En el Sistema, los polígonos industriales están situados tras las aglomeraciones urbanas con lo que en primer lugar refuerzan el impacto debido a los vertidos de aguas negras urbanas y en segundo lugar, perturban los procesos de autodepuración de esas mismas aguas. Hay que señalar que sólo ejercen un efecto importante en el bajo Henares, pues lo alcalino, tamponado y turbio de sus aguas mitigan en gran par

te este impacto al formar complejos con los sólidos arcillosos en suspensión que acaban precipitando. En el bajo Henares, sin embargo, con toda la vida superior aerófila exterminada, los efectos de los vertidos industriales van a dañar significativamente a los microorganismos (en particular los vertidos farmacéuticos), dando como resultado que el río retrase el ritmo de autodepuración que según el caudal le correspondería.

Así pues, aunque todos los tipos de contaminación inducen regresión en el ecosistema, cada tipo en particular ejerce una acción bastante diferente, que no sólo varía con su intensidad sino también con la localización espacial; así la contaminación por materia orgánica es mucho más grave en el potamon que en el rhithron donde la turbulencia de las aguas compensa la caída en los niveles de O.D. y la contaminación industrial sería mucho más grave en las zonas de aguas ácidas que en la de aguas alcalinas.

### 3.c.6. Dinámica del ecosistema

Con lo estudiado hasta ahora puede relacionarse ya la estructura organizativa encontrada en cada estación y el papel que desempeñan las distintas fuentes energéticas y sus intensidades cambiantes a lo largo del tiempo y del espacio.

Si analizamos el papel de cada una de estas fuentes de energía en función de su intensidad y en las circunstancias particulares de cada lugar de muestreo podemos deducir los efectos generados en la organización y en la productividad por este "encuentro" entre energías de diferente origen que se produce en el ecosistema.

De manera general, se puede señalar que en la parte del sistema en la que la contaminación directa antropógena es prácticamente insignificante, las dos fuentes de energía de alta utilidad: la materia orgánica alóctona y la radiación solar ejercen un efecto sinérgico y por ende beneficioso para la productividad absoluta de esa parte del ecosistema.

En efecto y prescindiendo de la estación nº 1 por tratarse de un crenon atípico formado sobre calizas de los páramos, ricos en nutrientes y con una corriente no demasiado abrasiva, lo que posibilita el que allí exista una alta productividad (ya reseñé el papel de *Nasturtium*), en las estaciones nº 2 y 3 la principal fuente energética con mucho va a estar constituida siempre por la materia orgánica alóctona directamente relacionada con la riqueza del entorno terres-

tre que bordea al río y con su correspondiente coeficiente de escorrentia. La radiación solar por su parte va a desempeñar en este tramo un papel más modesto pero también importante. El análisis de las características autoecológicas de las especies encontradas en este tramo muestra que los organismos productores como las diatomeas adheridas, los musgos y las algas verdes filamentosas juegan un papel a todas luces insuficiente para soportar la gran legión de animales detritívoros y consumidores que constituyen la mayor parte de la biomasa en esta zona del sistema. En efecto, aquí la alta velocidad de la corriente y el fuerte régimen turbulento dominante, entendido como una manifestación desordenada e imprevisible y caracterizado por una continua amnesia progresiva, impide la proliferación masiva de productores que capten la energía solar recibida y la transformen en biomasa. El plantel permanente de biomasa de los organismos productores en este tramo va a ser siempre muy bajo y va a estar constituido fundamentalmente por diatomeas adheridas, que son entre las distintas microalgas las que presentan una relación P/B más baja. Sólo en los lugares más remansados y allí donde existen macrófitas acuáticas (Myriophyllum y Ranunculus fundamentalmente) ó Briofitos, pueden los herbívoros (Baetis debido a su plasticidad es la dominante ecológica en el perifiton y Ecdyonurus lo es entre las piedras) tener una representación en biomasa de cierta entidad, que posibilita que la dieta de los depredadores no esté exclusivamente compuesta por detritívoros y el que por lo tanto puedan incrementar su diversidad y abundancia.

A partir de este efecto beneficioso para la productividad del ecosistema generado por la energía lumínica en los remansos, el efecto térmico ejercido por la radiación solar también parece desempeñar un papel importante para la vida. En efecto al ser la biota acuática de sangre fría, la parte de la energía solar que se disipa como forma de calor, al ser responsable de la temperatura del agua, gobierna la diapausa y es la encargada de regular el ciclo vital de las distintas poblaciones. (Recordaré incluso el color más oscuro de las larvas de insectos que presentan el período de vuelo más temprano, como por ejemplo Perlodes o Perla, al que los ecólogos dan la significación de adaptación tendente a absorber radiaciones que drenen el calor necesario para la metamorfosis final).

En las partes más bajas de este tramo, la estación nº 4, en las que por un lado la velocidad de la corriente ha decaído suficientemente y el cambio de sustrato geológico ha permitido una mayor riqueza en nutrientes por lixiviación de las litofacies, asistimos a una creciente importancia de la fuente de la energía solar, apreciándose aún más el efecto sinérgico positivo entre las distintas fuentes energéticas. Dentro de este sinérgismo resulta interesante el destacar un nuevo aspecto que a partir de aquí comienza a tener auge: "la complementariedad" en el tiempo. En efecto, si prescindimos de la contaminación antropógena, a medida que descendemos hacia aguas abajo, los diversos ciclos de vida de los distintos insectos tienden a estar más sincronizados como corresponde a las adaptaciones ya mencionadas a los estia-

jes, y ello se traduce en un "acercamiento" en el tiempo de los periodos de emergencia, con lo cual para una estación fenológica (el verano) hay una importante pérdida de biomasa, debida a la gran cantidad de ninfas de insectos que al hacerse "adultos" abandonan el río. Para esta pérdida de biomasa los propios mecanismos homeostáticos (sustituciones de unas especies por otras como Oligoneurella por Baetis) por sí mismos son a todas luces insuficientes. Pues bien, esta pérdida en biomasa que constituiría un desastre evidente para los seres que ocupan los últimos eslabones de las redes tróficas (particularmente los Teleósteos) es COMPENSADA por el incremento en diversidad y abundancia de los productores primarios (especialmente microalgas) que precisamente se encuentran favorecidas por la disminución de la velocidad de la corriente, el aumento de la temperatura del agua por encima de los 12° C y la mayor insolación (dentro de un orden). Así pues en el rhithron del sistema la pérdida en biomasa debida a la emergencia de los insectos se compensa con una utilización máxima de la energía luminosa que resulta ampliamente beneficiosa para el sistema ya que al permitir un aumento en biomasa de los productores primarios, especialmente de microalgas que son mucho más "comestibles" que las macrófitas, posibilita también la multiplicación de sus consumidores más inmediatos. En este sentido los "booms" de microalgas estimulan la producción de protozoos, rotíferos y microcrustáceos, como ya analicé en el capítulo correspondiente, y lo que es más importante posibilitan que crustáceos como Athyaephyra y Gammarus (recordemos que tienen una tasa de renovación muy alta) y sus de-

predadores naturales compensen con su aumento en biomasa las pérdidas producidas por la emergencia. Con ello, los Teleósteos, precisamente cuando por efecto térmico, al ser seres de sangre fría tienen por lo general más activado su metabolismo pueden disponer del alimento suficiente para alcanzar un buen desarrollo.

Otro efecto compensador importante es que durante el estiaje, al bajar los niveles de oxígeno disuelto en el agua, precisamente cuando más necesario resulta este gas para la vida por la activación térmica del metabolismo, el incremento de la producción primaria permite suministrar el oxígeno necesario para que los procesos respiratorios de los consumidores puedan tener lugar normalmente. Esto nos ayuda a explicar el porqué precisamente en los tramos del sistema en que mayor es la biomasa de las microalgas también se den los máximos de productividad piscícola. (Así pues, el ecosistema Sorbe-Henares presenta una diferencia fundamental con los ecosistemas tipo "lago" y así mientras que en estos últimos los "pulsos" de microalgas parecen adquirir su máxima importancia en primavera y en otoño, en el río el "boom" algal desempeña un papel crucial precisamente durante el verano).

Todo lo dicho para las primeras estaciones del sistema vuelve a hacerse aún más cierto para las estaciones 5 y 6, pues la menor velocidad de la corriente y la mayor riqueza salina en las aguas del Henares, unidas a la falta de una cubierta forestal que dé umbría al cauce (recuerdo que desde la estación 2 hasta la 4 existía una frondosa aliseda en



las orillas del Sorbe), favorece el que en verano (en otras estaciones no tanto debido a la fuerte turbidez generada por la escorrentía que por la falta de cobertura vegetal y por la escarpada pendiente de la margen izquierda es allí muy fuerte) la energía luminosa caiga de lleno sobre esta parte del cauce y la producción primaria pueda ser lo suficientemente elevada como para soportar uno de los mayores planteles de biomasa que registran los consumidores primarios en todo el ecosistema.

A este efecto a todas luces benéfico que ejerce en esta parte del sistema la fuente de energía luminosa desde el final de la primavera hasta principios del otoño, hemos de añadirle el que comienzan a generar los primeros vertidos procedentes de las granjas de animales y de los asentamientos urbanos de Yunquera y Fontanar.

La magnitud de estos vertidos no es lo suficientemente grande como para no poder ser asimilada por los mecanismos de autodepuración del río y así la entrada en el sistema de este tipo de contaminación de intensidad moderada, fundamentalmente constituida por materia orgánica y por elementos nutritivos, desde el punto de vista energético, va a actuar como un "subsidio de energía". La entrada de esta "corriente auxiliar" es muy beneficiosa, pues va a permitir reducir el costo del mantenimiento de todo el edificio biológico, reforzando la productividad y reduciendo la pérdida de calor respiratorio o utilizando palabras de Schrodinger, "incrementar el bombeo reductor de entropía para mantener la estructura biológica". De todas formas, a finales de ve-

rano, si el caudal se reduce en demasía ocurre a veces que este subsidio hace que la energía disponible para la producción alcance un margen crítico y se producen fenómenos de eutrofización, que aunque no graves por tener un carácter puntual, gracias a la plasticidad y capacidad alimentaria de los consumidores primarios, sí que testimonian que de incrementarse en el futuro el volumen de estos vertidos podrían ya producirse fuertes oscilaciones de "auge y quiebra" en palabras de Odum de las poblaciones algales y amenazarse la productividad global.

Si resumieramos pues el distinto papel de las distintas fuentes energéticas en estas seis primeras estaciones del Sistema, tendríamos que señalar que tanto la radiación solar como la materia orgánica alóctona ejercen un efecto sinérgico cooperativo que va ampliándose cada vez más en el espacio a medida que el flujo va perdiendo velocidad y turbulencia. Este efecto se magnifica también en el tiempo, y es especialmente durante la época crítica de mínimo caudal cuando la energía solar no sólo coopera sino incluso complementa el esquema biológico derivado para la captación de la materia alóctona, elevando la tasa de biomasa de los productores y de los consumidores primarios y sus depredadores y facilitando oxígeno disuelto al medio que incrementa la respiración y la descomposición. En este sentido la energía solar actúa como la aguja diestra que posibilita la "reparación" de las mallas tróficas agujereadas por la emergencia de los insectos adultos.

Por su parte, la contaminación orgánica moderada que comien

za a recibir el sistema tambien ejerce un efecto cooperati-  
vo, facilitando un subsidio de energía que incrementa a to-  
das luces la productividad ( con la salvedad de qué parece  
que nos estamos aproximando a un margen crítico si crecie-  
ran los vertidos procedentes de Yunquera y Fontanar, cuyas  
descargas urbanas representan ya 180 y 54 Kg/día de DBO<sub>5</sub>  
respectivamente). La contaminación generada por la utiliza-  
ción agrícola del valle a nivel de contaminantes no biode-  
gradables tipo insecticidas y metales pesados tiene en este  
tramo aun muy poca importancia y solo en la estación nº 6  
reduce algo la diversidad de las microalgas. Así pues pode-  
mos concluir que en estas 6 primeras estaciones las 3 fuen-  
tes de energía que entran en el sistema ( materia orgánica  
alotona, luz solar, contaminación orgánica biodegradable)  
cooperan y se complementan de tal modo que existe una corre-  
lación directa entre la energía disponible para la produc-  
ción y la productividad estimada en el sistema.

A partir de la estación nº 7, tras los vertidos de Guadale-  
jara y de sus polígonos industriales, el panorama cambia.  
Con relación a la energía aportada por el material orgáni-  
co biodegradable y que aguas arriba funcionaba como un sub-  
sidio benéfico, aquí ya rebasa el margen crítico y lejos de  
favorecer la productividad se transforma en una presión que  
"envenena" parcialmente al Sistema. Si a esto le añadimos  
la entrada de residuos industriales tóxicos que actúan di-  
rectamente contra elementos del Sistema tenemos el cuadro  
completo que explica la pérdida en productividad. Aquí pues  
a diferencia de lo que sucedía en las seis primeras estacio

nes, se rompe el efecto cooperativo benéfico de las tres fuentes de energía desde el momento que la "sobre carga energética" aportada por los vertidos contaminantes, desordena parte del ecosistema e impide el aprovechamiento de una fracción de la energía solar que se malgasta y se disipa al reducirse el número de seres que puedan aprovecharla. Esta drástica reducción de la producción primaria, no sólo constituye un bloqueo parcial de una de las fuentes de energía, sino que también priva al ecosistema de los efectos benéficos de la acción de la energía solar, así pues disminuye la biomasa de productores, consumidores primarios y sus depredadores, el ecosistema pierde diversidad, gana en entropía y se ven únicamente favorecidos los procesos respiratorios con el agravante de que estando en mínimo caudal (con lo que disminuye la posibilidad de capturar oxígeno atmosférico por turbulencia) y a máximas temperaturas, (con lo que disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua) los procesos fotosintéticos que aportan oxígeno están disminuidos. Este derroche energético y sus consecuencias nefastas se mantiene hasta aguas abajo de la estación 8 agravado por los vertidos industriales del Polígono de Azuqueca de Henares. Resumiendo pues, el exceso de energía aportada por la contaminación orgánica unido a los efectos tóxicos de la contaminación industrial rompen lo que hasta entonces era una acción sinérgica de las tres fuentes energéticas y reducen drásticamente la utilización de la energía solar, decayendo especialmente la producción primaria y todo lo con ella asociado, produciéndose un des

pilfarro de energía que no hace sino acrecentar la entropía del sistema.

En la estación nº 9 va de nuevo a invertirse y ello es debido a que, aparte de que el río ya se ha autodepurado parcialmente mineralizando parte de la materia orgánica, su carácter de represa por un lado va a permitir sedimentar los sólidos en suspensión que porta el río y por el otro, al remansarse las aguas va a verse estimulada la formación de verdadero plancton y aunque su diversidad no pueda alcanzar la esperable en aguas más limpias, su biomasa va a ser la mayor de todo el Sistema. Por otra parte el sustrato y la mineralización de las aguas van a permitir el asentamiento de numerosas macrofitas acuáticas que constituyen el hábitat adecuado para los crustáceos (At yaëphyra aquí principalmente) y para sus depredadores naturales las larvas de Odonatos.

Así pues aquí vuelve a ser utilizada eficazmente la energía solar, se incrementa la producción primaria que drena oxígeno y alimentos para los herbívoros, que a su vez sirven de presa para los carnívoros. No es pues de extrañar que sea aquí donde se alcancen los valores más altos de productividad piscícola de todo el Sistema y el que sea en verano precisamente cuando la mayor parte de los peces depredadores presenten restos patentes de larvas de Odonatos en sus contenidos estomacales.

En la estación nº 10 se mantiene esta situación y ello es debido a que la descarga de agua de la represa se verifica "en superficie" en lugar de "en profundidad". Esto tiene

su importancia pues al establecerse en la represa una termoclíma estacional si la salida fuera de agua profunda, saldría un agua algo más fría, pero muy pobre en oxígeno y posiblemente rica en lodos, mientras que así lo que sale si bien es un agua más caliente, está mucho más oxigenada y es muy rica en plancton, con lo cual la represa de La Oruga lo que hace es exportar, tras "aclarar" el agua por sedimentación, un plantel de biomasa de productores primarios que permiti ran una buena utilización de la energía solar, así como drenar alimento tanto para los detritívoros como para los consumidores primarios, de ahí el que pueda aumentar la presión de depredación, se mantenga alta la productividad piscícola y el sistema pueda organizarse de tal modo que vuelve a perder entropía.

En la estación nº 11 asistimos de nuevo a lo que ocurría aguas abajo de Guadalajara pero en proporción mucho más aguda. Sólo el vertido de aguas negras de Alcalá de Henares con una población de 120.000 habitantes descarga un caudal de  $36.000 \text{ m}^3/\text{día}$  que significa una  $\text{DBO}_5$  de  $10.800 \text{ Kg/día}$  y unos sólidos en suspensión de  $14.400 \text{ Kg/día}$ . Estos sólidos en suspensión son capaces de absorber la luz con lo que impiden la fotosíntesis, mientras que el exceso de energía que supone la inyección de una carga biodegradable tan grande supera con mucho la capacidad de descomposición y de dispersión del efluente que tiene el río y ejerce tal presión que reduce a un mínimo la productividad. Así, junto con el "derroche" de la energía solar generado por la desaparición de la producción primaria, la proporción de detritus orgá-

nicos absorbidos es tan grande como para que bacterias y protozoos creen condiciones anaerobias consumiendo el oxígeno disuelto mucho más rápidamente de lo que puede difundirse. El efecto pues de este extraordinario superávit energético va a consistir en la sustitución de los procesos de descomposición aeróbicos por las vías, eso sí más lentas, de la fermentación. Este proceso es el que caracteriza al río Henares cuando recibe a la altura de la estación nº 12 el último vertido urbano de la ciudad de Alcalá. Aquí ya son pues los saprofitos anaerobios acompañados de algún macroinvertebrado que no depende del oxígeno disuelto en el agua, los que llevan el peso fundamental en el rescate de energía y materia. Con todo y con ello, el despilfarro energético es inmenso y la entropía es muy grande.

Por si esto fuera poco, los sucesivos vertidos de Zanussi que tiñe el río de blanco (metales pesados, restos de pinturas, etc); Iberplásticos S.A. (PBC y otros compuestos); H.D. Lee S.A. y Lepetit (vertidos de concentrados de antibióticos que tiñe de marrón el agua), hacen que incluso los distintos tipos de microorganismos que hasta entonces seguían autodepurando pierdan la suficiente diversidad como para que sus procesos sean eficaces y las aguas del río pasan a transformarse en esa cloaca casi abiótica que discurriendo a cielo abierto degrada el paisaje.

Bibliografía.-

- Arabina, I.P. (1.968)  
Seasonal and annual dynamics and production of Zoobenthos in Lakes Narochi, Myastro and Baturin. Author's Summary of Candidate Thesis Minsk.
- Galkouskaya, G.A. (1.966)  
The production of pond zooplankton. Hidrobiol. Zh, 2 : 4.
- Margalef, R. (1.974)  
Ecología. Ed. Omega
- Margalef, R (1.978)  
Perspectivas de la teoría ecológica.  
Ed. Blume, Barcelona
- Negus, Ch.L. (1.966)  
A quantitative study of growth and production of Unionid Mussels in the river Thames at Reading. J. Anim. Ecol. 35 : 3.
- Pechen, G.A. (1.964)  
Production of planktonic Crustaceans in different types of Lakes. Proc. 10th Conf. on Inland Waters of the Baltic Area Minsk.
- Poddubnaya, T.L. (1.963)  
Life cycle and growth rate of Limnodrilus. Mich. Oligochaeta, Tubificidae. Trudy Inst. Biol. Vodokhran, 5 : 8.



- Sokolova, N.Yu. (1.968)

The production of Chironomids in the Ucha Reservoir.

Metody opredeleniya produktsii vodnykh zhivotnykh. Minsk

- Zaika, V.E. (1.972)

Specific production of aquatic invertebrates.

John Wiley & sons. New York, Toronto.

### 3.c.7. Conclusiones:

Pese a lo mucho y variado de la información hasta aquí expuesta pienso interesante remarcar a modo de síntesis una serie de ideas que a mi modo de ver son muy representativas de lo que constituye la esencia del propio ecosistema Sorbe-Henares.

En primer lugar, hay que destacar la portentosa plasticidad con que frente a las diversas variables que la influyen responde la estrategia de la vida. Esta plasticidad se concreta en una fabulosa capacidad de autoorganización de las biocenosis, que bien gobernadas por movimientos impredecibles como los turbulentos, por agresiones manifiestas como los contaminantes, o bien por condiciones menos duras y estables como en los tramos limpios más lénticos del potamon, siempre responde a la forma más eficaz posible para rescatar y aprovechar la materia y la energía que entran en el río.

En segundo lugar, hay que destacar el efecto sinérgico positivo para la productividad del ecosistema ejercido por el gradiente natural Oligotrofia-Eutrofia generado por la lixiviación creciente de las litofacies desde aguas arriba hasta aguas abajo, y por la disponibilidad de la radiación solar que posibilita el desarrollo de la producción primaria y de todo el edificio que ésta sustenta. Prescindiendo de aspectos interceptores o inhibitorios para con ellas, las variables "nutrientes naturales" y "radiación" van a responder dentro del rango de las condiciones naturales encontradas en el sistema, a funciones continuas que permiten obtener res-

puestas predecibles en las biocenosis, incluso en términos de productividad.

En tercer lugar, hay que destacar los elementos que generan perturbaciones en el ecosistema hasta el punto de provocar discontinuidades. La materia orgánica de origen antropógeno por encima de cierto umbral, la contaminación industrial de carácter tóxico y la turbidez del agua son capaces de originar auténticas "catastrofes" que se traducen físico-químicamente en bruscos cambios en la calidad del agua y biológicamente en drásticas sustituciones de comunidades, en las cuales las funciones continuas que antes permitían la predictibilidad dejan ahora de tener significado pues de nada sirve, p. ej el incrementar los nutrientes o la radiación, si no pueden ser aprovechados por los productores, bien porque la turbidez intercepte la luz o porque los seres vivos hayan reducido su diversidad y abundancia por envenenamiento.

Dentro de estas sustituciones, para las que ya no es válido el modelo performante "de aguas limpias", desde el momento en que ya no existe predictibilidad frente al comportamiento de las variables consideradas, vuelven a generarse otras funciones continuas en el sistema que ya respondan a otra lógica y dentro de ellas, encontramos el incremento de los detritívoros-poluoresistentes a la contaminación compleja, los efectos antagonistas generados por el predominio de la flora bacteriana, el aumento de la turbidez, la casi desaparición de las algas y la inhibición por tanto de los procesos metabólicos de reaireación que drenan el oxígeno disuelto necesario para sustentar la vida aeróbica.

Los tramos de diferente "calidad" encontrados en el sistema responden pues a "discontinuidades" cada una con su propia lógica, en las que las funciones continuas sólo son válidas dentro del ámbito de la discontinuidad que las alberga y pierden todo sentido de predictibilidad fuera de esos confines. La contaminación pues, por encima de cierto umbral se comporta como una serie de catástrofes en cascada (en el sentido de discontinuidades) para las cuales solo puede haber series continuas de modelos puntuales, cuyo lenguaje lógico es absolutamente ininteligible para descifrar el mensaje del siguiente. A medida que la contaminación crece se magnifica el caos, esa es la única función continua que pervive.

Y ya en medio del caos, para terminar quiero mencionar otro tipo de proceso caótico en la parte final de nuestro sistema: la gestión del recurso agua.

Vista la inmensa capacidad de autodepuración que tienen las aguas del río resulta realmente inconcebible lo irracional de la planificación de los vertidos. Si se hubiera estudiado mínimamente cual es la capacidad real de esta autodepuración y al ritmo que transcurre, la simple variación a lo largo del espacio y/o del tiempo de este mismo volumen de efluentes posibilitaría el que el río aún continuara, parcialmente al menos, funcionando como depuradora y no como cloaca, a la que sólo falta (ya ocurre con algunos ríos en nuestro país) tapar por arriba para convertirle en una alcantarilla clásica.

#### IV. Epílogo

Lo acaecido en el ecosistema Sorbe-Henares no es algo único en nuestro país, sino desgraciadamente constituye un hecho demasiado frecuente. Se da la paradoja que cuanto mayor es en todos los sentidos la demanda de agua (lo que obliga necesariamente a las captaciones superficiales), los vertidos residuales transforman los ríos en cloacas a cielo abierto, anegando la vida aeróbica y retrasando, cuando no inhibiendo, los procesos que constituyen la base de los mecanismos de autodepuración; en definitiva, mermando de tal modo la calidad del agua para los distintos usos, que la posibilidad de reutilizarla se hace cada vez más costosa y por lo tanto más remota.

La legislación basada en el establecimiento de las características máximas de los vertidos (en todos los efluentes el vertido debe mantenerse inferior a un porcentaje fijado para unas máximas concentraciones de materia contaminante) para los distintos tipos de cauces definidos, aparte de su no cumplimiento en muchas ocasiones, resulta a todas luces insuficiente, pues no existe ningún control sobre el volumen total de sustancias contaminantes añadidas a la corriente.

De lo estudiado en este trabajo se deduce que una de las ramas de la Biología, la Ecología Aplicada, tiene un brillante porvenir en el campo de las aguas continentales, pues por un lado permite discriminar netamente diferentes zonas de calidad de las aguas, lo que constituye la base

para ordenar racionalmente el "territorio río" posibilitando el delimitar, proteger y reservar cada tramo para su mejor utilización con lo que se puede establecer una clasificación de calidad para cada tramo y regular cualquier vertido en la extensión necesaria para mantener esta calidad.

Por otra parte, el estudio auto y sinecológico del ecosistema permite profundizar en el conocimiento cada vez más necesario de como ocurren en la naturaleza los procesos de autodepuración de las aguas y el papel que desempeñan en ellos cada grupo de organismos para distintos efluentes y distintas condiciones, procesos que, salvo para la contaminación doméstica más clásica, son aún insuficientemente conocidos.

La importancia de este aspecto es creciente en el mundo, sobre todo si como ejemplo recuerdo que los EEUU, país que marcha a la cabeza en el estudio de los problemas referentes a la reutilización de las aguas usadas, está intentando abandonar paulatinamente toda la sofisticada y costosa tecnología del tratamiento e intentando recurrir allí donde es posible a aprovechar al máximo la capacidad de autodepuración natural pues resulta más eficaz y sensiblemente más económico. Países industrializados como Gran Bretaña son ya un modelo en este sentido.

Sería mi deseo que este trabajo pudiera contribuir a despertar una mayor afición de los biólogos de nuestro país hacia los ríos, pues el trabajo además de interesante es importante y nos está esperando.

